

Тульский государственный университет  
Российский химико-технологический университет им. Д.И. Менделеева  
Российское химическое общество им. Д.И. Менделеева  
Тульское отделение Российского химического общества им. Д.И. Менделеева  
Санкт-Петербургский государственный технологический институт  
(технический университет)  
ТООО Научно-технический центр  
ООО «ТУЛЬСКИЙ ДНТ»

## **ПРИОРИТЕТНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ НАУКИ И ТЕХНОЛОГИЙ**

### **XXXVII МЕЖДУНАРОДНАЯ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ**

Сборник докладов

Тула  
Издательство ТулГУ  
2025

УДК 001.895:6(062)  
ББК 65.011я431  
П76

**Рецензенты:**

*Вольхин С. Н.*, д-р пед. наук, профессор, профессор кафедры информационных технологий, искусственного интеллекта и общественно-социальных технологий  
ФГБОУ ВО «Российский государственный социальный университет»;  
*Рылеева Е. М.*, канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры охраны труда и окружающей среды  
ФГБОУ ВО «Тульский государственный университет».

П 76      **Приоритетные направления развития науки и технологий :**  
сборник докладов по материалам XXXVII Международной науч.-  
практич. конф. / под общ. ред. В.М. Панарина ; техн. ред. Н.Н. Жукова,  
Л.П. Путилина. – Тула : Изд-во ТулГУ, 2025. – 264 с.

ISBN 978-5-7679-5833-7

Рассмотрены теоретические и прикладные вопросы развития инновационной деятельности, науки и технологий. Изложены аспекты современных энергосберегающих и ресурсосберегающих производственных технологий, рационального природопользования и экологии. Рассмотрены вопросы разработки информационных и образовательных технологий для решения научных и прикладных задач.

Материал предназначен для научных сотрудников, инженерно-технических работников, студентов и аспирантов, занимающихся широким кругом современных проблем развития науки и технологий.

**Редакционная коллегия:**

*В.П. Мешалкин*, академик РАН; *В.М. Панарин*, проф., д-р техн. наук;  
*А.А. Маслова*, доц., д-р техн. наук; *Л.Э. Шейнкман*, проф., д-р техн. наук;  
*А.Е. Коряков*, доц., канд. техн. наук.

УДК 001.895:6(062)  
ББК 65.011я431

ISBN 978-5-7679-5833-7

© Авторы докладов, 2025  
© Издательство ТулГУ, 2025

# ЭКОЛОГИЧЕСКИ ЧИСТЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

## УТИЛИЗАЦИЯ ОРГАНИЧЕСКОГО ЦЕЛЛЮЛОЗОСОДЕРЖАЩЕГО СОРБЕНТА КАК ЭЛЕМЕНТ ЭКОЛОГИЧЕСКИ ЧИСТЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

А.И. Нуриев<sup>1</sup>, А.А. Гребёнкин<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Санкт-Петербургский государственный университет  
промышленных технологий и дизайна, г. Санкт-Петербург

<sup>2</sup> ООО Естественные технологии, г. Санкт-Петербург

***Аннотация.** В данной работе рассматриваются современные подходы к утилизации органических целлюлозосодержащих сорбентов, применяемых в процессах очистки загрязнённых водных и почвенных сред, а также при ликвидации последствий разливов нефти и химических веществ. Особое внимание уделено сорбентам на основе целлюлозно-минеральных смесей в виде флотошлам, образующихся при улавливании и сгущении волокнисто-минеральных отходов методом напорной флотации на установках SPC-24.*

Актуальность исследования обусловлена значительными объёмами образования данных отходов – десятки тысяч тонн ежегодно. В настоящее время большая их часть вывозится на полигоны, несмотря на нетоксичность. Флотошламы включают коротковолокнистую целлюлозу (до 3 мм) фибриллярной капиллярно-пористой структуры и значительное количество минеральных примесей, что определяет их сорбционные свойства. По внешнему виду смеси представляют собой однородные серые комковатые массы с влажностью 50-60 % (ГОСТ 13525.19), зольностью до 40-50 % (ГОСТ 7629) и pH водной вытяжки 6,8-9,0 (ГОСТ 12523-77). Теплотворная способность составляет 900-1800 ккал/г.

Проведён сравнительный анализ эффективности указанных подходов с точки зрения экологической безопасности, технологической доступности и возможности интеграции в системы замкнутого природопользования. Показано, что комбинирование методов, включая предварительную экстракцию загрязнителей и биоремедиационные процессы, позволяет существенно снижать экологическую нагрузку и повышать степень полезного использования отходов.

Полученные выводы подтверждают значимость развития технологий утилизации целлюлозосодержащих сорбентов как важного направления экологически чистых технологий и природоохранной деятельности, а также подчёркивают потенциал использования вторичных материалов в промышленности и аграрном секторе.

Целлюлозосодержащие сорбенты широко используются в природоохранной деятельности благодаря высокой пористости, биосовместимости и доступности исходного сырья [1]. Целлюлоза, являясь биополимером, отличается высокой химической модифицируемостью и способностью к биодеструкции [2]. Модифицированные целлюлозные материалы демонстрируют повышенную сорбционную эффективность в отношении

нефтепродуктов и органических токсикантов [3], что делает вопросы их последующей утилизации особенно актуальными.

Насыпная плотность сорбентов различается в зависимости от предприятия-производителя: Светлогорский ЦБК – 350 кг/м<sup>3</sup> (высокая зольность, негорючесть), Краснодарский ЦБК – 180 кг/м<sup>3</sup>, БФ «Коммунар» – 150 кг/м<sup>3</sup>.

Сорбционная ёмкость для различных нефтепродуктов составляет: бензина 0,0051 ±0,1 кг, дизельного топлива 0,0053 ±0,1 кг, отработанных моторного и трансмиссионного масел 0,0067–0,0077 ±0,1 кг, сырой нефти из аварийного амбара НПЗ 0,0093 ±0,1 кг. Эти данные подтверждают эффективность применения целлюлозно-минеральных сорбентов для локализации и ликвидации нефтяных загрязнений, что согласуется с результатами работ [1, 3].

Термическая переработка является одним из наиболее универсальных подходов, позволяющим обезвреживать загрязнённые материалы и получать вторичные энергетические продукты – биоуголь и пиролизный газ [4]. Для высокозольных флотошамов (например, Светлогорского ЦБК) данный метод является особенно перспективным.

Биодеградация считается наиболее экологически безопасным подходом, так как целлюлоза хорошо разлагается под действием микроорганизмов. Однако присутствие нефтепродуктов существенно замедляет процесс, что требует применения специализированных микробных сообществ [5].

Использование поверхностно-активных веществ, органических растворителей либо щелочных растворов позволяет восстанавливать сорбционную способность материалов. Однако этот подход образует значительные объёмы вторичных жидких отходов, что требует дополнительной утилизации [6].

После экстракции загрязнителей флотошамы могут быть повторно использованы как: минерально-целлюлозная добавка в строительные смеси, компонент теплоизоляционных материалов, почвоулучшитель или структурообразующий компонент грунтов [7].

Высокая зольность отдельных образцов делает их перспективными в качестве минерального наполнителя для строительных материалов.

Сравнительный анализ показывает, что: пиролиз обеспечивает высокую степень обезвреживания, но требует развитых систем газоочистки. Биодеградация экологически безопасна, но менее оперативна. Химическая регенерация позволяет многократное использование сорбентов, но приводит к образованию вторичных отходов. Рециклинг соответствует принципам замкнутого природопользования и способствует снижению экологической нагрузки.

Наиболее перспективным представляется комбинированный подход, включающий предварительную очистку сорбента, биоремедиационные процессы и дальнейшее использование очищенного материала в производственных или агротехнических целях.

## Выводы

Утилизация целлюлозосодержащих сорбентов, включая целлюлозно-минеральные флотошамы, является важным направлением развития экологически чистых технологий. Комбинирование методов переработки позволяет не только снижать экологическую нагрузку, но и эффективно вовлекать вторичные материалы в хозяйственный оборот, что соответствует современным принципам рационального природопользования.

## Список литературы

1. Huang X. *Cellulose-based sorbents for oil spill cleanup: A review* / X. Huang, Z. Zeng, Y. Yang [et al.] // *Carbohydrate Polymers*. – 2019. – Vol. 224. – P. 115176.
2. Klemm D. *Cellulose: Fascinating biopolymer and sustainable raw material* / D. Klemm, B. Heublein, H.-P. Fink, A. Bohn // *Angewandte Chemie International Edition*. – 2005. – Vol. 44(22). – P. 3358-3393.
3. Chen H. *Biotechnology of Lignocellulose: Theory and Practice*. Dordrecht: Springer, 2014. – 306 p.
4. Maghsoodloo S. *Thermal decomposition and pyrolysis of cellulose and lignocellulosic wastes: A review* / S. Maghsoodloo, E.K. Goharshadi // *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. – 2021. – Vol. 135. – P. 110180.
5. *United States Environmental Protection Agency (EPA). Oil Spill Waste Management Guidance*. Washington: EPA, 2018.
6. Chen H. *Biotechnology of Lignocellulose: Theory and Practice*. Dordrecht: Springer, 2014. – 306 p.
7. Vimbo L. *Biodegradation of cellulose-based materials* / L. Vimbo, H. Angellier-Coussy, G. Siqueira [et al.] // *Progress in Polymer Science*. – 2023. – Vol. 140. – P. 101627.

## РАЗРАБОТКА ЭКОЛОГИЧЕСКИ ЧИСТОГО СОРБЕНТА НА ОСНОВЕ КОКОСОВОЙ МЯКОТИ ДЛЯ ЛИКВИДАЦИИ НЕФТЯНЫХ РАЗЛИВОВ

А.П. Спиридонова, А.Н. Гребёнкин

Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна,  
г. Санкт-Петербург

**Аннотация.** В данной работе предложена и экспериментально обоснована технология получения экологически чистого сорбента из кокосовой мякоти для ликвидации нефтяных разливов в водных и прибрежных экосистемах. Актуальность исследования обусловлена растущей потребностью в экологически безопасных, биodeградируемых материалах, способных быстро и эффективно поглощать углеводородные загрязнители, снижая негативное воздействие на флору, фауну и качество воды.

В ходе работы был проведён комплекс мероприятий по подготовке кокосового сырья: механическое измельчение, низкотемпературная сушка и обезжиривание с использованием петролейного эфира. Эти этапы позволили

увеличить удельную поверхность, раскрыть поровую структуру и повысить доступность сорбента для гидрофобных веществ. Экспериментальная оценка нефтеёмкости проводилась в соответствии со стандартной методикой ASTM F726, при этом были определены основные показатели сорбционной эффективности, включая массу поглощённой нефти и скорость её адсорбции.

Результаты экспериментов показали, что полученный сорбент обладает высокой нефтеёмкостью – 1,65 г/г, а процесс поглощения нефтяных углеводородов происходит в течение нескольких секунд, что делает материал эффективным для быстрого реагирования при разливах нефти. Кроме того, было установлено, что удаление природных жиров из кокосовой мякоти существенно повышает адсорбционную способность за счёт улучшения пористой структуры и снижения гидрофильности поверхности.

Сравнение с литературными данными показало, что показатели нефтеёмкости разработанного сорбента находятся на уровне или выше аналогичных растительных материалов, таких как рисовая шелуха, хлопковое волокно и кокосовое волокно. Полученные результаты подтверждают, что кокосовая мякоть является доступным, экологически безопасным и биodeградируемым сырьём для производства сорбентов, пригодных для оперативного применения в системах локализации и ликвидации нефтяных разливов.

Нефтяные разливы представляют собой одну из наиболее опасных форм антропогенного воздействия на окружающую среду. Их влияние проявляется в разрушении экосистем, снижении биоразнообразия, нарушении устойчивости водных организмов и ухудшении качества почв. Как отмечает Fingas [1], стойкость нефтяных фракций и их медленная биodeградация приводят к долгосрочному загрязнению природных сред, требуя применения эффективных средств локализации и удаления.

На этом фоне возрастает интерес к природным сорбентам, которые способны обеспечить экологически безопасную и экономически оправданную альтернативу синтетическим материалам. В качестве растительного сырья широко рассматриваются рисовая шелуха, хлопковое волокно, древесные опилки и кокосовое волокно [2-4]. Их эффективность обусловлена развитой пористой структурой, высоким содержанием целлюлозы и лигнина, низкой плотностью и биосовместимостью.

Кокосовая мякоть и коир известны выраженной капиллярно-пористой структурой и естественной гидрофобностью благодаря наличию растительных восков и лигнина. Ранее проведённые исследования свидетельствуют о том, что нефтеёмкость кокосового сырья, в зависимости от способа предварительной обработки, варьирует от 1,5 до 3,0 г/г [5]. Учитывая доступность кокосового сырья, его биodeградируемость и простоту переработки, изучение его свойств в качестве сорбента является актуальным направлением экологических технологий.

Целью исследования является разработка натурального сорбента из кокосовой мякоти и экспериментальная оценка его нефтеёмкости.

Подготовка сырья. Свежая кокосовая мякоть была механически измельчена до частиц среднего размера, что позволило увеличить удельную поверхность. Сушка осуществлялась при температуре 60-70 °С в течение трёх часов. Низкотемпературный режим позволяет сохранить структуру целлюлозы и предотвратить термическое разрушение органических компонентов. Экстракция масел. Для удаления природных липидов применяли петролейный эфир, эффективно извлекающий жиры из растительного сырья. Экстракция проводилась 3 часа в аппарате с обратным холодильником. Обезжиривание способствует увеличению доступного порового пространства и улучшению смачиваемости сорбента углеводородами. После экстракции сырьё промывалось, высушивалось и использовалось в испытаниях (рисунок). Определение нефтеёмкости. Методика испытаний: масса сорбента 2 г, масса нефти 1 г, время контакта 10 минут, конечная масса 3,3 г.

Нефтеёмкость рассчитана по формуле 1:

$$HE = \frac{m_{\text{отр. сорбент}}}{m_{\text{исх.}}} \quad (1)$$



Сорбент из кокосовой мякоти под микроскопом

Полученный сорбент продемонстрировал:

1. Высокую скорость поглощения – нефть впитывалась за несколько секунд.
2. Нефтеёмкость 1,65 г/г, что соответствует уровню природных сорбентов растительного происхождения.
3. Улучшение адсорбционной способности после обезжиривания, что согласуется с механизмами.

#### **Выводы:**

Разработан экологически чистый сорбент на основе кокосовой мякоти. Экспериментальные данные показали нефтеёмкость 1,65 г/г и высокую скорость сорбции. Материал можно рекомендовать для дальнейшей оптимизации и применения в системах локализации и ликвидации нефтяных разливов.

#### **Список литературы**

1. Fingas M. *Oil Spill Science and Technology: Prevention, Response, and Cleanup*. 2nd ed. Oxford: Gulf Professional Publishing, 2017. – 1076 p.

2. Wahi R., Ngaini Z., Jok V. Oil removal from aqueous state using natural fibrous sorbent: A review. *Industrial Crops and Products*. – 2013. – Vol. 41. – P. 134-140.

3. Teli M.D., Valia S.P. Natural fiber sorbents for oil spill cleanup: A review. *Journal of Environmental Chemical Engineering*. – 2013. – Vol. 1, № 4. – P. 1029-1035.

4. Hussein M., Amer A., El-Maghraby A., Taha N. Availability of barley straw application on oil spill cleanup. *Journal of Applied Sciences*. – 2008. – Vol. 8. – P. 293-299.

5. Al-Majed A. A., Adebayo A. R., Hossain M. E. A review of oil sorbents: Materials, methods and mechanisms. *Journal of Petroleum Science and Engineering*. – 2012. – Vol. 100. – P. 180-187.

## **СОВРЕМЕННЫЕ РЕГУЛЯТОРЫ РОСТА ДЛЯ ДОСТИЖЕНИЯ МАКСИМАЛЬНОГО ПОТЕНЦИАЛА ЗЕРНОВЫХ КУЛЬТУР**

А.С. Ступин

Рязанский государственный агротехнологический университет  
имени П.А. Костычева,  
г. Рязань

**Аннотация.** В статье представлены регуляторы роста растений, используемых на зерновых культурах. Показано, что перспективной группой биорегуляторов являются вещества - защитно-стимулирующие комплексы, полученные из природного растительного сырья и обладающие широким спектром действия. Защитно-стимулирующие комплексы регулируют рост и развитие растений, защищают растения от неблагоприятного воздействия различных абиотических и антропогенных факторов.

Регуляторы роста и развития, в отличие от питательных веществ, представляют собой органические соединения, которые не столько обеспечивают растение «строительным материалом», сколько управляют его жизненными процессами. Их действие может быть двояким: они способны как активизировать и ускорять рост и развитие, так и, наоборот, замедлять или подавлять эти процессы. Эти вещества могут быть как эндогенными, то есть вырабатываться самим растением в виде фитогормонов, так и экзогенными, то есть созданными человеком препаратами, которые находят широкое применение в современном растениеводстве для достижения определенных целей, будь то повышение урожайности, улучшение качества продукции или управление сроками созревания.

ЭкстраКор, ВРП представляет собой водорастворимый порошок, созданный на основе экстракта коры лиственницы даурской. Этот природный продукт является мощным адаптогеном, способствующим устойчивости растений к стрессовым условиям и обладающим высокой биорегуляторной активностью. Его действующее вещество – это комплекс проантоцианидинов (650 г/кг), параоксибензойных кислот (140 г/кг) и дигидрокверцетина (160 г/кг),



принадлежащих к химическим классам танинов, ароматических карбоновых кислот и флавоноидов. Препарат относится к классу малоопасных для человека (4) и пчел (3).

Эпин-Экстра, Р – это раствор, разработанный для повышения устойчивости растений к стрессовым факторам. Благодаря своему составу (24-эпибрассинолид, 0,025 г/л), относящемуся к брассиностероидам, он действует как системный регулятор роста, помогая культурам легче переносить засуху, обильные осадки, заморозки и температурные перепады. Этот отечественный препарат, классифицированный как малоопасный для пчел (3 класс) и умеренно опасный для человека (3В класс), может применяться в личных хозяйствах [1].

Плантарел, ВР – это универсальный препарат, используемый для обработки семян. Он сочетает в себе функции регулятора роста растений и пестицида, обладая при этом фунгицидными свойствами благодаря входящему в состав коллоидному серебру. В качестве второго активного компонента выступает полигексаметиленбигуанид гидрохлорид. Препарат выпускается в форме водного раствора и проникает в растения системно, а также действует контактно. Он способен защищать растения, стимулировать их рост и даже лечить от некоторых заболеваний. Плантарел, ВР классифицируется как умеренно опасный для человека и малоопасный для пчел, и его применение разрешено в личных подсобных хозяйствах.

Вигор Форте, КРП – это инновационный кристаллический порошок, разработанный для повышения стрессоустойчивости и ускорения адаптации растений. Его ключевой компонент – аналог растительного гормона ауксина – активно помогает растениям справляться с негативным воздействием окружающей среды, будь то природные катаклизмы или техногенные факторы.

Вигор Форте действует как мощный адаптоген, укрепляя иммунитет растений и способствуя их быстрому восстановлению. Он также может выполнять функции инсектицида, фунгицида и регулятора роста.

Препарат относится к малоопасным для человека (4 класс) и пчел (3 класс).

Мивал-Агро, КРП – это современный препарат для обработки семян, относящийся к группе регуляторов роста растений и пестицидов. Он эффективно справляется с негативным воздействием стрессовых условий на сельскохозяйственные культуры, что является актуальной задачей в современном земледелии. Отличаясь уникальным механизмом действия и широким спектром биологической активности, Мивал-Агро, КРП способствует ускоренному росту и развитию растений, повышает урожайность и улучшает его качество. Он относится к органическим солям и силатранам. Мивал-Агро, КРП проникает в растение контактным и системным путем, действуя как адаптоген широкого спектра. Препарат малоопасен для человека (4 класс) и практически неопасен для пчел (4 класс).

Бигус, ВР – это водный раствор регулятора роста растений, созданный на основе гуминовых веществ. Он призван стимулировать рост и развитие культур, а также увеличивать урожайность. Основным действующим веществом являются калийные соли гуминовых кислот (25 г/л в пересчете на кислоту),

относящиеся к классу органических солей. Препарат действует системно, проникая в растение. Он относится к малоопасным веществам для человека (4 класс) и пчел (3 класс) [2].

Иммуноцитифит, ТАБ – это препарат в форме таблеток, содержащий этиловый эфир арахидоновой кислоты. Он стимулирует ферментативную активность растений, повышая их природную защиту от болезней и ускоряя рост. Препарат относится к классу сложных эфиров, действует как системный регулятор роста растений и малоопасен для человека (4 класс опасности).

Биосил, ВЭ – это натуральный и безопасный для окружающей среды стимулятор роста растений. Он укрепляет различные сельскохозяйственные культуры (зерновые, технические, овощные), делая их более устойчивыми к болезням и стрессовым условиям. Препарат выпускается в виде водной эмульсии, содержит 100 г/л тритерпеновых кислот и относится к классу биологических пестицидов. Он действует как системный регулятор роста растений, проникая в них. Для человека препарат имеет 3В класс опасности, а для пчел – 3 (малоопасные).

Биотран, КРП – это современный регулятор роста растений, основанный на кремнийорганических соединениях. Он имитирует действие естественных растительных гормонов и выпускается в виде кристаллического порошка. Активными компонентами являются триэтаноламмониевая соль ортокрезоксиуксусной кислоты и 1-хлорметилсилатран, присутствующие в концентрации 750 и 150 г/кг соответственно. Он действует как контактный и системный регулятор роста, а также как адаптоген широкого спектра. Средство умеренно опасно для человека и малоопасно для пчел.

Стиммунол ЕФ, Ж - жидкий фитоактиватор, предназначенный для всех видов сельскохозяйственных культур. Содержит комплекс аминокислот (L-аргинин, L-пролин, L-лейцин) в концентрации 8,84 г/л, 0,3 г/л и 0,68 г/л соответственно. Препарат действует как системный регулятор роста растений. Относится к малоопасным веществам для человека (4 класс) и пчел (3 класс).

АгроСтимул, ВЭ – это мощный биопрепарат на основе дигидрокверцетина (50 г/л), относящийся к классу флавоноидов. Он действует как иммуномодулятор и стимулятор роста, улучшая развитие широкого спектра культур: зерновых, овощных, технических, цветочных, декоративных, а также плодовых деревьев и виноградников. Препарат выпускается в форме водной эмульсии. Он является системным регулятором роста растений, умеренно опасен для человека (3 класс) и малоопасен для пчел (3 класс).

Беркана, ВРК – это регулятор роста растений широкого спектра действия, представленный в форме смачивающегося порошка. Его активные компоненты – 3-индолилуксусная кислота (гетероауксин), альфа-глутаминовая кислота и альфа-аланин – в концентрации 18, 70 и 60 мг/кг соответственно, относятся к классам индольных карбоновых кислот и аминокислот. Препарат обладает контактным и системным действием, стимулируя рост растений. Он относится к 3 классу опасности для человека (умеренно опасные) и 3 классу опасности для пчел (малоопасные) [3].

Мелафен, ВР – это универсальный регулятор роста растений, который в минимальных дозах способствует активному развитию и формированию растений. Препарат представляет собой водный раствор действующего вещества – меламиновой соли бис(оксиметил) фосфиновой кислоты (концентрация  $10^{-4}$  г/л), относящегося к производным бис(оксиметил) фосфиновой кислоты. Мелафен проникает в растение системно и классифицируется как малоопасный для человека и пчел.

ЭпивиоВигор, Ж – это жидкий биостимулятор, предназначенный для предпосевной обработки семян сои, зерновых культур и картофеля. Он содержит комплекс биологически активных веществ, включая гомобрассинолид, долихолид и брассинон, которые способствуют росту растений. Препарат относится к классу брассиностероидов, терпеноидов и фитогормонов, обладает контактным и системным действием, а также является регулятором роста. ЭпивиоВигор классифицируется как малоопасный для человека и пчел.

Карбонадо, ТПС – это многофункциональное биологическое средство, которое одновременно стимулирует рост растений, защищает их от грибковых заболеваний и обеспечивает питательными веществами. Оно выпускается в виде текучей пасты и содержит поли-бета-гидроксимасляную кислоту (6,2 г/кг). Препарат относится к бактериальным фунгицидам и действует системно, как регулятор роста и защитный фунгицид, повышая устойчивость растений. Для человека он умеренно опасен, а для пчел – малоопасен.

Микромецен, ВР – это универсальный регулятор роста растений, который активизирует процессы развития и формирования урожая даже в сверхмалых дозах. Его действующее вещество, натриевая соль бис(оксиметил) фосфиновой кислоты (0,0001 г/л), является фосфорорганическим соединением и проникает в растение контактным путем. Применение Микромецена способствует повышению урожайности и улучшению качества сои, подсолнечника, зерновых и сахарной свеклы. Препарат выпускается в форме водного раствора и характеризуется низкой степенью опасности для человека (4 класс) и пчел (3 класс).

Биодукс, Ж – это универсальный стимулятор роста и иммунитета для растений. Он подходит для любых культур и климатических условий. Препарат используется как для обработки семян перед посевом, так и для опрыскивания растений в период их роста. Форма выпуска – жидкость, действующее вещество – арахидоновая кислота (0,3 г/л), относящаяся к классу жирных кислот. Биодукс действует как системный регулятор роста растений. Он умеренно опасен для человека и малоопасен для пчел [4].

Крезацин (КРП, ТАБ) – это таблетированный стимулятор роста растений, который способствует развитию корневой системы, ускоряет рост и созревание плодов. Его действующее вещество – триэтаноламмониевая соль ортокрезоксикусусной кислоты (950 г/кг), относящаяся к органическим солям. Препарат действует контактно и является адаптогеном широкого спектра. Он малоопасен для человека (4 класс) и пчел (3 класс).

Энергия-М, КРП, ТАБ – это современный кремнийорганический стимулятор роста растений. Он основан на активном кремнии и выпускается в

виде кристаллического порошка. Препарат содержит триэтаноламмониевую соль ортокрезоксиуксусной кислоты и 1-хлорметилсилатран в концентрации 855+95 г/кг. Это адаптоген широкого спектра действия, который проникает в растение контактным и системным путем. Средство умеренно опасно для человека и малоопасно для пчел.

Цитодеф-100, ВРП – это водорастворимый порошок, содержащий 100 г/кг действующего вещества N-(1,2,4-триазол-4-ил)-N-фенилмочевины. Этот регулятор роста растений, относящийся к классу мочевин, обладает цитокининовой активностью и эффективно защищает зерновые культуры от стрессовых условий, таких как засуха и низкие температуры. Препарат проникает в растение системно и классифицируется как умеренно опасный для человека и малоопасный для пчел.

Новосил, ВЭ – это натуральное средство для стимуляции роста и развития растений. Оно обладает многосторонним положительным эффектом, включая ускорение роста и защиту от грибковых заболеваний. Препарат выпускается в виде водной эмульсии, содержит 100 г/л тритерпеновых кислот (биологический пестицид) и действует как системный регулятор роста растений. Средство относится к 3В классу опасности для человека и является малоопасным для пчел (3 класс) [5].

Циркон, Р – это уникальный препарат, созданный на основе природных компонентов. Он действует как естественный регулятор роста растений, не являясь гормоном. Выпускается в виде раствора, где основным действующим веществом является гидроксикоричная кислота. Каждого литра раствора содержит 0,1 грамма этого ценного компонента. По своей химической природе, гидроксикоричная кислота относится к группе фенольных соединений.

Циркон, Р проникает в растение системно, то есть распространяется по всему организму, выполняя роль регулятора роста. Это делает его эффективным средством для улучшения развития ваших растений.

Альбит, ТПС – это многофункциональное биологическое средство, которое одновременно стимулирует рост растений, защищает их от грибковых заболеваний и обеспечивает комплексное питание. Выпускается в виде текучей пасты. В его состав входят поли-бета-гидроксимасляная кислота и ряд минеральных солей (сульфат магния, фосфат калия, нитрат калия, карбамид) в указанных концентрациях. Препарат действует системно, проникая в растение, и обладает защитным, иммунизирующим и росторегулирующим эффектом. Он относится к малоопасным веществам для человека и пчел.

### **Список литературы**

1. Шаповал О.А. Регуляторы роста растений в агротехнологиях / О.А. Шаповал, И.П. Можарова, А.А. Коршунов // *Защита и карантин растений*. – 2014. – № 6. – С. 16-20.
2. Шаповал О.А. Регуляторы роста растений / О.А. Шаповал, В.В. Вакуленко, Л.Д. Прусаков // *Защита и карантин растений*. – 2008. – № 12. – С. 53-88.

3. Вакуленко В.В. Регуляторы роста растений в сельскохозяйственном производстве / В.В. Вакуленко, О.А. Шаповал // Плодородие. – 2001. – № 2(2). – С. 23-24.

4. Синяшин О.Г. Инновационные регуляторы роста растений в сельскохозяйственном производстве / О.Г. Синяшин, О.А. Шаповал, М.М. Шулаева // Плодородие. – 2016. – № 5(92). – С. 38-42.

5. Нефедьева Е.Э. Роль фитогормонов в регуляции прорастания семян / Е.Э. Нефедьева, С.Л. Белопухов, В.В. Верхотуров, В.И. Лысак // Известия вузов. Прикладная химия и биотехнология. – 2013. – № 1(4). – С. 61-66.

## **ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ И МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ КИНЕТИКИ СОРБЦИИ НЕФТЕПРОДУКТОВ ПОРИСТЫМ КОМПОЗИЦИОННЫМ МАТЕРИАЛОМ (ПЛОСКИЙ СОРБЦИОННЫЙ МАТ)**

А.А. Казарезов, В.В. Ларичкин, Н.И. Ларичкина  
Новосибирский государственный технический университет,  
кафедра «Инженерные проблемы экологии (ИПЭ)»,  
г. Новосибирск

**Аннотация.** Представлены результаты экспериментальной оценки сорбционной способности пористого композиционного материала для ликвидации разливов нефтепродуктов и предложен математический аппарат для описания кинетики сорбции. В качестве базового испытания использовано отработанное моторное масло; получены значения сорбционной ёмкости при фиксированном времени контакта 15 мин ( $n=5$ ). Показано, что корректная интерпретация результатов требует нормирования на массу активной сорбционной загрузки ( $мг/г$ ). Для последующего этапа исследований выбран формат плоского сорбционного мата, потенциально обеспечивающий увеличение площади контакта и снижение диффузионных ограничений. Для описания кинетики предложено применять модели псевдо-первого и псевдо-второго порядка, а также модель внутривещного диффузии Вебера-Морриса, что позволяет оценивать скорости массопереноса и лимитирующие стадии.

**Ключевые слова:** сорбция; нефтепродукты; отработанное моторное масло; композиционный материал; плоский сорбционный мат; кинетика; псевдо-второй порядок; Вебер-Моррис.

### **Введение**

Ликвидация аварийных разливов нефтепродуктов на почвенные и твёрдые поверхности требует сорбционных материалов, которые обеспечивают не только высокую сорбционную ёмкость, но и высокую скорость насыщения, особенно на ранних стадиях контакта. Практическая эффективность сорбента определяется сочетанием свойств пористой структуры, смачиваемости, капиллярного переноса и конструктивных параметров изделия (геометрия, толщина слоя, тип оболочки) [1]. В этой связи исследование кинетики сорбции и построение математической модели массопереноса являются необходимыми для корректного сопоставления материалов и инженерной оптимизации изделий.

Настоящая работа рассматривает пористый композиционный материал и обосновывает переход к плоскому сорбционному мату как конструктивному решению для повышения кинетической эффективности при фиксированном составе.

Цель работы – экспериментально оценить сорбционную способность композиционного материала в условиях лабораторного испытания и сформировать воспроизводимый математический аппарат для последующего кинетического моделирования в статическом и динамическом режимах с акцентом на плоскую форму изделия.

## **1. Материалы и методы**

### **1.1. Объект исследования и состав сорбционной загрузки**

Испытывали композиционную сорбционную загрузку общей массой 20 г, сформированную из четырёх компонентов: опилки – 6 г, вермикулит – 6 г, активированный уголь – 6 г, силикагель – 2 г. На данном этапе испытания выполняли в виде заполненного сорбирующего мешочка. Плоский сорбционный мат рассматривается как целевая форма изделия для дальнейшего экспериментального цикла; переход к плоской геометрии планируется реализовать при сохранении состава (массовых долей) с последующей проверкой влияния толщины и типа оболочки на скорость насыщения.

### **1.2. Условия сорбционного испытания**

В качестве модельного нефтепродукта использовали отработанное моторное масло. Время контакта составляло 15 мин, после чего образцу предоставляли стекание (при необходимости) по принятой в лаборатории методике. Для оценки воспроизводимости выполнено пять параллельных испытаний ( $n=5$ ).

### **1.3. Расчёт сорбционной ёмкости**

Сорбционную ёмкость выражали в мг сорбата на 1 г активной сорбционной загрузки (мг/г) и рассчитывали по формуле:

$$Q = (m_2 - m_1) / m_s \cdot 1000,$$

где  $m_1$  – масса мешочка с сорбентом до сорбции, г;  $m_2$  – масса мешочка с сорбентом после сорбции, г;  $m_s$  – масса сорбционной загрузки (в данном испытании 20 г);  $Q$  – сорбционная ёмкость, мг/г.

Показатель «Поглощение, %», представленный в первичных протоколах, соответствует доле поглощённой жидкости в массе насыщенного образца  $((m_2 - m_1) / m_2 \cdot 100 \%)$  и используется как вспомогательная характеристика степени насыщения [2]; в настоящей работе основным количественным показателем принята величина  $Q$  в мг/г.

### **1.4. Математическое моделирование кинетики (план последующего этапа)**

Для кинетического анализа (при расширении протокола испытаний до серии временных точек  $q_i(t)$ ) предусматривается использование следующих моделей [:

а) модель псевдо-первого порядка (Лагергрена):

$$\ln(q_e - q_t) = \ln(q_e) - k_1 t;$$

б) модель псевдо-второго порядка (Но–McKay):

$t/q_t = 1/(k_2 q_e^2) + t/q_e$ , где начальная скорость  $h = k_2 q_e^2$ , а время полунасыщения  $t_{50} = 1/(k_2 q_e)$ ;

в) модель внутрипоровой диффузии Вебера-Морриса:

$q_t = k_i \cdot t^{1/2} + C$ , позволяющая выделять вклад пограничного слоя и диагностировать многостадийный характер массопереноса по наличию нескольких линейных участков.

Расчёты параметров моделей рекомендуется выполнять в среде Python методом линейной регрессии линеаризованных форм с оценкой адекватности по  $R^2$ . Для построения окончательной кинетической модели на плоском мате необходимо снять  $q(t)$  минимум в 6-8 временных точках (например, 0; 1; 2; 5; 10; 15; 20; 30 мин).

## 2. Результаты

В таблице приведены результаты пяти параллельных испытаний по сорбции отработанного моторного масла при времени контакта 15 мин. В расчёте сорбционной ёмкости использовано нормирование на массу активной загрузки  $m_s = 20$  г, что обеспечивает сопоставимость с литературными данными и корректную интерпретацию эффективности материала.

Результаты сорбции отработанного моторного масла за 15 мин ( $n=5$ ).  
\*Поглощение рассчитано как  $(m_2 - m_1)/m_2 \cdot 100$  %.

№	$m_1$ , г	$m_2$ , г	$\Delta m$ , г	Q, мг/г	Поглощение*, %
1	22.5	95.4	72.9	3645	76.42
2	22.7	93.2	70.5	3525	75.64
3	22.6	97.0	74.4	3720	76.70
4	22.4	80.9	58.5	2925	72.31
5	22.7	90.4	67.7	3385	74.89

Средняя сорбционная ёмкость составила 3440 мг/г при стандартном отклонении 315 мг/г. 95 % доверительный интервал для среднего ( $n=5$ ) составляет 3049-3831 мг/г. Наибольший вклад в разброс результатов, вероятно, вносит неоднородность смачивания и стекания нефтепродукта, что дополнительно обосновывает переход к плоской геометрии мата для более равномерного распределения сорбата по сорбционному объёму.

На рисунке 1 показаны индивидуальные значения Q по повторностям, а также среднее значение и 95 % доверительный интервал. Рисунок 2 иллюстрирует распределение значений Q (ящик с усами) для оценки воспроизводимости испытаний.

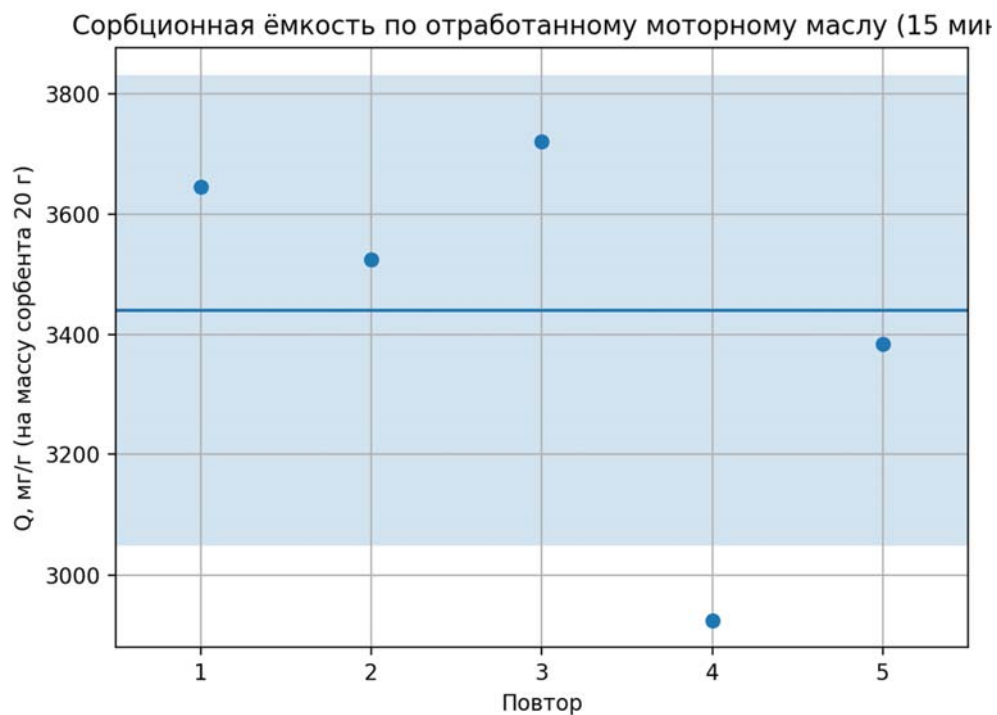


Рис. 1. Сорбционная ёмкость  $Q$  по повторностям (15 мин), мг/г; показаны среднее и 95 % ДИ

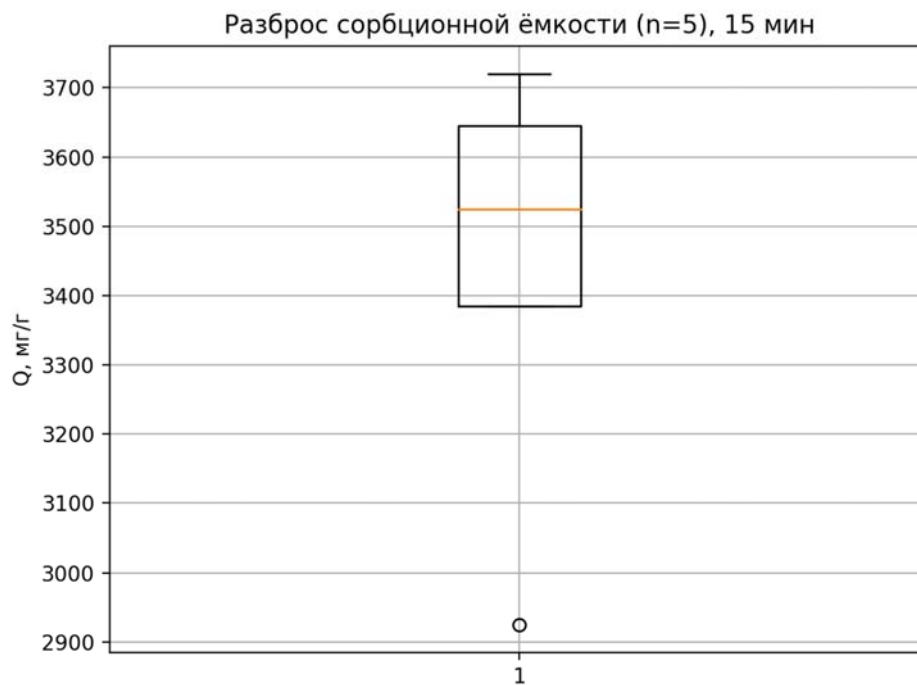


Рис. 2. Разброс сорбционной ёмкости  $Q$  ( $n=5$ ), мг/г

### 3. Обсуждение

Полученные данные характеризуют сорбционную способность композиционного материала в условиях фиксированного времени контакта 15 мин и могут рассматриваться как базовая точка для сравнительной оценки



конструктивных модификаций изделия. При переходе от мешочка к плоскому мату ожидается (i) увеличение площади контакта сорбент–нефтепродукт, (ii) уменьшение характерной толщины слоя, через который должен проходить сорбат, и (iii) снижение влияния пограничного слоя за счёт повышения проницаемости и равномерности смачивания. Эти эффекты должны проявиться в уменьшении  $t_{50}$  и росте начальной скорости сорбции  $h$  при сопоставимой равновесной ёмкости  $q_e$ .

Для доказательного описания механизма массопереноса в плоском мате рекомендуется расширить протокол испытаний до кинетической серии  $q_i(t)$  и выполнить аппроксимацию тремя моделями (псевдо-1, псевдо-2, Вебер-Моррис). При анализе Вебера-Морриса параметр  $C$  будет количественно отражать вклад пограничного слоя; уменьшение  $C$  при переходе к плоскому мату будет прямым доказательством снижения внешнего сопротивления массопереносу.

## 6. Заключение

1) Получены экспериментальные данные по сорбции отработанного моторного масла композиционным материалом при времени контакта 15 мин: средняя сорбционная ёмкость составила 3440 мг/г (95 % ДИ: 3049-3831 мг/г,  $n=5$ ).

2) Показано, что для корректного сопоставления эффективности следует использовать  $Q$  в мг/г, нормированную на массу активной загрузки; показатель «поглощение, %» является вспомогательным. 3) Обоснован выбор плоского сорбционного мата как целевой формы изделия для повышения кинетической эффективности; для последующего этапа сформирован математический аппарат (псевдо-1/псевдо-2/Вебер-Моррис) и предложен протокол снятия кинетических кривых  $q_i(t)$ , необходимый для параметризации модели.

## Список литературы

1. Zhang Y. Development of novel composite adsorbents for the removal of contaminants: A review / Y. Zhang, Z. Hu, S. Chen [et al.] // *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*. – 2017. – Vol. 47, № 23. – P. 1909-1945. DOI: 10.1080/10643389.2017.1380867.
2. Cunha A. Composite materials for oil-spill recovery: A review / A. Cunha, F. Moreira, C. Rodrigues [et al.] // *Journal of Environmental Management*. – 2018. – Vol. 206. – P. 605-621. DOI: 10.1016/j.jenvman.2017.11.028.
3. Jin Z. Recent advances in functionalised absorbent materials for oil-spill cleanup / Z. Jin, J. Zhang, Y. Jiang [et al.] // *Journal of Hazardous Materials*. – 2020. – Vol. 386. 121660. DOI: 10.1016/j.jhazmat.2019.121660.
4. Angelova D. Sustainable lignocellulosic composite sorbents for simultaneous oil and acid-spill remediation / D. Angelova, G. Uzunova, E. Filova [et al.] // *Materials*. – 2025. – Vol. 18, № 4. 2176. DOI: 10.3390/ma18042176.
5. Singh H. Environmental impacts of oil spills and their remediation by nanostructured sorbents / H. Singh, N. Bhardwaj, S.K. Arya, M. Khatri // *Environmental Nanotechnology, Monitoring and Management*. – 2020. – Vol. 14. 100383. DOI: 10.1016/j.enmm.2020.100383.

6. Amritphale S.S. Oil-spill cleanup using industrial and agricultural waste-based sorbent materials / S.S. Amritphale, J.C. Matthews, J.G. Lynam // *Environmental Technology*. – 2021. – Vol. 42, № 4. – P. 634-641. DOI: 10.1080/09593330.2019.1700748.

7. Elmobarak W.F. Application of magnetic particles for oil sorption and regeneration / W.F. Elmobarak, F. Almomani // *Journal of Petroleum Science and Engineering*. – 2021. – Vol. 203. 108506. DOI: 10.1016/j.petrol.2021.108506.

8. Ho Y.S. Pseudo-second order model for sorption processes / Y.S. Ho, G. McKay // *Process Biochemistry*. – 1999. – Vol. 34. – P. 451-465.

9. Казарезов А.А. Исследование возможности многократного использования абсорбционного материала для ликвидации разливов нефтепродуктов / А.А. Казарезов, В.В. Ларичкин, Н.И. Ларичкина // *Наука. Промышленность. Оборона*. – 2023. – Т. 3. – С. 156-160.

10. Демешко Е.А. Разработка композиционного состава сорбента для сбора нефтепродуктов при разливах на почву / Е.А. Демешко, Н.И. Ларичкина, В.В. Ларичкин // *Наука. Промышленность. Оборона*. – 2023. – Т. 3. – С. 141-145.

11. Ларичкина Н.И. Разработка состава сорбционного экрана для ликвидации разливов нефтепродуктов на почву / Н.И. Ларичкина, Е.А. Демешко // *Труды НГТУ*. – 2023. – № 2(99). – С. 85-94.

## **МЕТОДОЛОГИЯ И МОДЕЛИ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ УРОВНЯ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ВОДОЕМОВ НА КРАТКОСРОЧНЫЕ И ДОЛГОСРОЧНЫЕ ПЕРИОДЫ**

В.А. Браун, А.А. Маслова  
Тульский государственный университет,  
г. Тула

**Аннотация.** Рассмотрены и проанализированы перспективные модельные архитектуры и методологии прогнозирования загрязнения окружающей среды в краткосрочной и долгосрочной перспективе, что осуществляется посредством применения различных методологических подходов, учитывающие широкий спектр факторов. Для построения точной модели необходимо использовать достоверные данные о количественных и качественных характеристиках, а также обладать знаниями о закономерностях распространения ЗВ в водной среде и применять соответствующие методы машинного обучения и математический аппарат.

К основным факторам выбора методологических подходов для прогноза уровня загрязнения относятся ожидаемое воздействие на экосистемы и прогнозируемые изменения параметров качества водных ресурсов. Прогнозирование можно рассматривать как процесс создания новой информации, при этом достоверность прогнозов для краткосрочного периода, как правило, выше, чем для долгосрочного.

Краткосрочное прогнозирование в основном связано с оценкой ожидаемого воздействия человека или природы на окружающую среду, что

охватывает период от 1-3 года. При краткосрочных прогнозах применимы следующие перспективные методы:

- методы экстраполяции: используют данные за несколько лет для продолжения текущих тенденций на прогнозируемый период, эффективны при равномерных изменениях.

- статистические методы: такие как регрессионный анализ и нейронные сети, выявляют количественные зависимости между качеством среды и метеопараметрами.

- климатологические методы: связывают ухудшение среды с погодными условиями, например, недостатком вентиляции воздуха, но могут только качественно прогнозировать превышение допустимых пороговых уровней качества сред.

Долгосрочные прогнозы позволяют оценить ожидаемые изменения качества компонентов окружающей среды с целью принятия мер по снижению загрязнения и планирования природоохранных мероприятий. Временной масштаб таких прогнозов обычно составляет от 15 до 20 лет. Методологические подходы долгосрочного прогнозирования состояния природных сред можно подразделить по способам составления на две группы. К первой группе относятся:

- экстраполяционные методы: основаны на экстраполяции характеристик вредных веществ с той или иной заблаговременностью. прогнозирует загрязнение на основе текущих тенденций развития экономики и ретроспективной информации;

- инерционные методы: используют текущие данные, не учитывая специфические факторы распространения вредных веществ.

Недостатком этих методов является то, что они не учитывают специфику условий распространения вредных веществ в различных природных средах, а также такие факторы, как климат, гидрометеорологические условия, ландшафт и др.

Вторая группа объединяет гидродинамические методы, основанные на математических уравнениях, которые учитывают разнообразные природные и антропогенные факторы, влияющие на направление и характер распространения вредных веществ в окружающей среде.

Временная классификация прогнозов экологического состояния носит условный характер и тесно связана с социально-экономическими условиями, учитывая направления и планы развития общества, а также технологические инновации. Поэтому она значительно зависит от социально-экономических, демографических и научно-технических прогнозов [1].

Краткосрочные и долгосрочные прогнозы экологической обстановки, в части прогнозирования уровня загрязнения воды, одновременно позволяют составить прогностическую оценку и ожидаемых изменений в природных ресурсах, связанных с изменением уровня загрязнения окружающей среды. Процедура краткосрочного и долгосрочного прогнозирования уровня загрязнения окружающей среды связана с обязательным учетом

гидрометеорологической обстановки на весь период действия прогнозов. Несмотря на то, что долгосрочный прогноз – это прогноз «среднего уровня загрязнения», тем не менее к нему предъявляются весьма серьезные требования со стороны потребителей.

Формирование, характер и масштабы зон загрязнения сточных поверхностных вод зависят от множества факторов, включая гидрологические, метеорологические и антропогенные воздействия. Эти параметры определяют как пространственные, так и временные характеристики зон загрязнения, что является ключевым аспектом при разработке стратегий экологического мониторинга и управления водными ресурсами. Диагноз и прогноз распространения примесей ЗВ базируется на использовании ряда параметров исследуемых водоемов. Их распространение в водных стоках от их источников, трансформация и их оседание на дне с иловыми массами зависит от различных факторов, среди которых:

- физические условия: разбавление, растворение и перемешивание поступающих загрязнений, что обеспечивается быстрым течением рек;
- форма частиц: на точность прогнозирования распространения взвешенных примесей и их осаждения в водотоках влияют коэффициент турбулентной диффузии дисперсной примеси и форма частиц;
- удельный вес примесей: вещества чья плотность выше, чем у воды, тонут и опускаются на дно; с меньшей плотностью, такие как жиры, масла, нефть и смолы, всплывают на поверхность воды и отделяются от сточных вод.

В рамках комплексного анализа и прогнозирования динамики распространения высокозагрязненных водных масс в речной сети особое внимание уделяется методологическому арсеналу, включающему применение трассерных экспериментов для моделирования потенциальных аварийных ситуаций, позволяющие с высокой степенью точности моделировать процессы миграции загрязняющих компонентов в водных системах. Эти эксперименты обеспечивают детальное понимание гидродинамических и химических процессов, происходящих в речных потоках, что является важным для разработки эффективных стратегий мониторинга и управления аварийными ситуациями.

Исследования по разработкам моделей краткосрочного прогнозирования направлено на выявление наиболее эффективных алгоритмов и методов способных обеспечить высокую точность и надежность прогноза в условиях динамически изменяющихся временных рядов. Так, за последние 20 лет тематика краткосрочных прогнозов разрабатывалась в исследованиях Б.И. Гарцмана, Ю.Г. Мотовилова, А.Н. Бугайца и др. [2].

В рамках исследования Всеволода Михайловича Морейдо проводится детальный анализ метрик качества прогнозирования, таких как среднеквадратичная ошибка (MSE), средняя абсолютная процентная ошибка (MAPE) и другие. Также рассматриваются вопросы устойчивости моделей к выбросам и аномалиям в данных, а также их способность адаптироваться к изменениям в структуре временных рядов;

Между фактическими расходами и прогнозными значениями, полученными на основе моделей, всегда существует расхождение. В задаче краткосрочного оперативного прогнозирования речного стока, особенно в период паводка, наблюдаются существенные расхождения между фактическими и прогнозными значениями. Это обусловлено сложностью процессов формирования стока, недостаточной точностью гидрологических моделей и метеорологических данных, как фактических, так и прогностических. Для повышения точности краткосрочных прогнозов используются оперативные корректировки, учитывающие новую гидрометеорологическую информацию и корректирующие модельные расчеты. Исследования В.М. Морейдо, посвященные возможностям данного прогнозирования стока малых рек и сточных вод с помощью методов машинного обучения [3], предоставляет перспективы для разработки более надежных алгоритмов, которые учитывают сезонные колебания и корреляционные зависимости между прогнозируемыми факторами.

Результаты исследований позволили сделать выводы от применимости различных моделей в зависимости от специфики анализируемых данных и требований к точности прогнозирования (табл. 1).

Таблица 1

Сравнительный анализ эффективности модельных архитектур при краткосрочном прогнозировании

	Модель ИНС - многослойный персептрон (MLP)	Модель множественной линейной регрессии (LM)	Модель с долгосрочной кратковременной памятью (LSTM)
Рабочий принцип	входные данные попадают в модель, с помощью определённых весов значения передаются через скрытые слои для получения выходных данных; обучение происходит от обратного распространения через скрытые слои	модель анализирует взаимосвязь между зависимой переменной и несколькими независимыми переменными (предикторами); учитывает влияние множества факторов одновременно	модель фиксирует долгосрочные зависимости в последовательных данных; на каждом временном шаге учитывает текущие данные и скрытое состояние с предыдущего временного шага, обрабатывает входные данные и обновляет ячейки памяти
Критерий качества	наиболее высокая эффективность и точность	недостаточное качество с эффективностью	оптимально высокое качество
Программная реализация	высокий уровень (специальные знания не требуются)	менее высокий уровень (требуется более глубокая подготовка и специализированные знания)	менее высокий уровень (требуется более глубокая подготовка и специализированные знания)

Продолжение таблицы			
Особенности	простая архитектура, подходит для моделирования базовых нелинейных зависимостей; не способен анализировать сложные связи (например, как предыдущие данные влияют на новые)	позволяет создавать взаимосвязь в виде прямой линии, что наилучшим образом аппроксимирует все отдельные точки данных; модель чувствительна к выбросам, наблюдениям, что заметно отличаются от общей совокупности.	позволяет удерживать зависимости на расстоянии 100-200 шагов и больше (в отличие от обычных рекуррентных нейронных сетей); может выявлять закономерности даже при наличии «шумов» или пропусков в последовательности.
Выявленные недостатки	требует настройки ряда гиперпараметров; чувствительна к масштабированию признаков (может вноситься неравномерный вклад в модель при разных масштабах); невыпуклая функция потерь (приводит к разной точности проверки)	нарушение предположений о независимости ошибок; неправильный выбор признаков (что может снижать точность); мультиколлинеарность признаков	долгое обучение из-за внутренней сложности и большого количества параметров; требовательность к ресурсам, особенно на больших выборках и длинных последовательностях; риск переобучения при обработке сложных данных; чувствительна к гиперпараметрам

Сравнительный анализ моделей краткосрочного прогнозирования позволяет выделить наиболее эффективные алгоритмы и методики, которые могут быть рекомендованы для практического применения в различных областях исследования.

Стоит подчеркнуть, что программная реализация моделей искусственных нейронных сетей (ИНС) достигла более высокого уровня, что позволяет осуществлять их разработку без необходимости глубоких специализированных знаний в данной области, за исключением базовых навыков программирования. Это выгодно отличает ИНС от моделей долгой краткосрочной памяти (LSTM) и моделей LM, для которых требуется более глубокая теоретическая и практическая подготовка [4].

В соответствии с вышеизложенным, именно методы, основанные на уравнениях математической физики, отвечают на многие вопросы в области достоверного прогнозирования экологической обстановки, чьи возможности ограничиваются по причине отсутствия или недостающей исходной информации.

### Список литературы

1. Кочуров Б.И. Прогнозирование экологических ситуаций [Электронный ресурс]. – URL: <https://clck.ru/3QBdPt>
2. Сучилина З.А. Краткосрочное прогнозирование стока реки Уссури: методика и специфика / З.А. Сучилина, Б.И. Гарцман, Л.В. Гончуков // Гидросфера. Опасные процессы и явления. – 2024. – Т. – 6. Вып. 3. – С. 231-249. DOI: 10.34753/HS.2024.6.3.231.
3. Морейдо В.М. Возможности краткосрочного прогнозирования стока малой реки с использованием методов машинного обучения / В.М. Морейдо, Б.И. Гарцман, Д.П. Соломатин, З.А. Сучилина // Гидросфера. Опасные процессы и явления. – 2020. – №4. URL: <https://clck.ru/3QVcev>
4. Долгих В.П. Оценка применимости моделей машинного обучения для прогноза гидроэкологического состояния малых рек / В.П. Долгих // журнал «Геология и Геофизика Юга России», 2025. – Т. 15, №3. DOI:10.46698/VNC.2025.82.17.001

## ВТОРИЧНЫЕ РЕСУРСЫ КАК АЛЬТЕРНАТИВА ПРИРОДНЫМ РЕСУРСАМ: ОГРАНИЧЕНИЯ И ПЕРСПЕКТИВЫ ПЕРЕХОДА К ЭКОНОМИКЕ ЗАМКНУТОГО ЦИКЛА

А.А. Качалова, Н.Н. Афанасьева  
Тульский государственный университет,  
г. Тула

**Аннотация.** В статье рассматривается потенциал использования вторичных ресурсов в качестве альтернативы природному сырью в условиях усиления ресурсных и экологических ограничений. Проанализированы технологические, экономические и институциональные барьеры развития экономики замкнутого цикла в России, а также перспективы расширения переработки и вовлечения вторичных материалов в хозяйственный оборот.

Современная Россия, как и многие развитые и развивающиеся страны, сталкивается с острой проблемой истощения природных ресурсов и экологической нагрузки, связанной с добычей и переработкой первичного сырья. В этих условиях вторичные ресурсы – материалы, ранее используемые, а затем возвращённые в хозяйственный оборот – представляют собой стратегически важную альтернативу традиционным природным ресурсам. Использование вторичного сырья позволяет снизить зависимость от добычи, уменьшить объёмы отходов и сократить экологические издержки производства. Однако потенциал вторичных ресурсов в России пока реализуется далеко не полностью: имеются значительные технологические, экономические и институциональные барьеры, которые тормозят широкомасштабное внедрение принципов экономики замкнутого цикла.

По данным постановления Правительства от 17 ноября 2022 года в России наблюдается рост доли вторичного сырья в металлургической промышленности,

особенно в цветной металлургии: для алюминия и меди доля вторичных материалов превышает 30 %, а для свинца достигает 100 % [1]. При этом российские статистические данные свидетельствуют о значительных объёмах отходов – например, по форме Росстата 2-ТП (отходы) за 2021 год было накоплено 477 млн тонн рудных отходов черных и цветных металлов, из которых утилизирована лишь часть [1]. Эти цифры показывают, что потенциал вторичных ресурсов существует, но использование его ограничено.

Система утилизации в России на сегодняшний день характеризуется низкой плотностью инфраструктуры: значительная часть металлолома перерабатывается с большой логистической «растянутостью» – транспортировка лома иногда превышает 1100 км, что многократно выше мировых средних показателей – менее 100 км [2]. Такая модель значительно снижает экономическую привлекательность переработки и создаёт дополнительные экологические и организационные издержки.

Технологические и логистические барьеры являются существенными препятствиями: многие предприятия не располагают современными установками для комплексной переработки шлаков, лома и других видов вторсырья. Пособие Томского политехнического университета подробно описывает трудности переработки шлаков черной и цветной металлургии – от сбора ковшовых остатков до их грануляции и извлечения металлов [3].

Экономически переработка вторичных ресурсов часто оказывается невыгодной без государственной или институциональной поддержки: длительная транспортировка, низкая концентрация ценных компонентов и высокие капитальные затраты на перерабатывающие технологии снижают маржинальность таких проектов. Кроме того, нормативно-правовая база ещё не полностью стимулирует замкнутый цикл: хотя в России действует федеральный проект «Экономика замкнутого цикла», и к 2030 году планируется сортировка 100 % ТКО и вовлечение не менее 25 % отходов в качестве вторсырья [4], реальное материальное вовлечение ограничено.

Институциональные барьеры выражаются в недостаточной стандартизации качества вторичного сырья, а также в слабой координации сбора, переработки и сбыта между регионами. Согласно исследованиям, дальность перевозки металлолома и других материалов зачастую отрицательно влияет на устойчивость цепочек переработки [2]. Также существует недостаток стимулов для перерабатывающих компаний: несмотря на потенциал, компании нередко сталкиваются с бюрократическими ограничениями и недостаточно выраженными экономическими механизмами поддержки.

Социально-культурные факторы также играют роль: население в России ещё не полностью привыкло к раздельному сбору мусора, а норма переработки бытовых отходов остаётся низкой. По данным журналистов, в России на переработку направляется лишь часть ТКО, и в некоторых регионах доля утилизации составляет всего 12,7 % [5]. Такой уровень свидетельствует о необходимости активизации общественного участия и просвещения.

Несмотря на существующие барьеры, перспективы использования вторичных ресурсов в России выглядят обнадеживающе. Утверждённый



национальный проект «Экологическое благополучие» предусматривает крупные инвестиции как в инфраструктуру сбора и сортировки, так и в крупные перерабатывающие мощности [5]. Развитие этих мощностей и стандартизация вторичного сырья способны значительно увеличить масштабы экономики замкнутого цикла в стране.

С точки зрения технологий, российские разработки в области металлургии техногенных и вторичных материалов продолжают совершенствоваться. Например, в монографии по вторичной металлургии описаны методы пирометаллургии, гидрометаллургии и электрометаллургии, адаптированные под переработку металлов из вторичных источников [6]. Также перспективы связаны с комплексной переработкой техногенных материалов: в книге Чекушина и Олейниковой рассматриваются технологии переработки благородных металлов, извлекаемых из техногенных и вторичных потоков [7].

Кроме того, институциональные реформы могут стимулировать переход к более циркулярной экономике. Внедрение механизма расширенной ответственности производителей (РОП), уже действующего с 1 января 2023 года, создаёт стимулы для компаний строить собственные мощности по переработке и возвращать вторичное сырьё в производство [8]. Это может значительно повысить стабильность спроса на вторсырьё и улучшить условия для инвестиций.

Вторичные ресурсы в России представляют собой реальную и необходимую альтернативу первичным природным ресурсам, способную снизить экологическую нагрузку, сократить отходы и поддержать устойчивое развитие. Однако их потенциал пока ограничен значительными технологическими, экономическими и институциональными барьерами. Преодоление этих препятствий требует координации усилий государства, бизнеса и общества: инвестиций в инфраструктуру, внедрения технологий, стимулирования сбора и переработки, а также регуляторных реформ.

Если национальные программы (например, «Экономика замкнутого цикла») и нормативные меры (закон о РОП) будут успешно реализованы, Россия сможет значительно расширить долю вторичного сырья в экономике. Это не только повысит ресурсную безопасность, но и создаст новые отрасли промышленности, повысит экологическую устойчивость и внесёт вклад в глобальную повестку устойчивого развития.

### **Список литературы**

1. *Правительство Российской Федерации. Применение вторичных ресурсов и вторичного сырья из отходов в промышленном производстве: постановление Правительства РФ от 17.11.2022 г. № (см. официальную публикацию).* – Офици. текст. – М.: Правительство РФ, 2022.
2. *Экономическая экспертная группа EcFor. Состояние системы утилизации отходов и использования вторичных ресурсов в России: аналитический отчёт.* – М.: EcFor, 2021. – 56 с.
3. *Томский политехнический университет. Технологии переработки шлаков и вторичных отходов металлов: учебное пособие.* – Томск: Изд-во ТПУ, 2020. – 112 с.

4. Министерство природных ресурсов и экологии РФ. Федеральный проект «Экономика замкнутого цикла»: информационные материалы. – М.: Минприроды России, 2022. – URL: <https://www.mnr.gov.ru> (дата обращения: 16.11.2025).

5. Меньше мусора: как в России формируется экономика замкнутого цикла. // РБК Тренды. – 2025. – 29 сентября. – URL: <https://trends.rbc.ru> (дата обращения: 16.11.2025).

6. Вторичная металлургия: переработка металлолома и отходов цветных металлов: монография. – М.: Металлургия, 2019. – 284 с.

7. Чекушин В.И. Комплексная переработка минерального, вторичного и техногенного сырья благородных металлов: монография / В.И. Чекушин, Н.В. Олейникова. – Красноярск: Сибирский федеральный университет, 2017. – 268 с.

8. Как закон о РОП меняет переработку отходов в России. // ВторПроект. – 2023. – URL: <https://vtorproekt.com> (дата обращения: 16.11.2025).

## **УТИЛИЗАЦИЯ ВТОРИЧНЫХ РЕСУРСОВ В РОССИИ: ЗАКОНОДАТЕЛЬСТВО, ПРАКТИКА И ПЕРСПЕКТИВЫ**

М.А. Кудрявцев, Н.Н. Афанасьева  
Тульский государственный университет,  
г. Тула

**Аннотация.** В Российской Федерации утилизация вторичных ресурсов (ВР) является одним из ключевых направлений экологической и экономической политики. Система переработки отходов и вовлечения их в хозяйственный оборот служит цели снижения нагрузки на окружающую среду, обеспечения промышленности вторичным сырьем и перехода к экономике замкнутого цикла. В условиях ежегодного образования порядка 50-60 миллионов тонн твердых коммунальных отходов (ТКО) создание эффективной системы обращения с вторичными ресурсами приобретает стратегическое значение как для федерального, так и регионального уровней управления.

Правовой основой функционирования системы переработки отходов служат Федеральный закон от 24 июня 1998 года № 89-ФЗ «Об отходах производства и потребления», а также федеральные программы и постановления, направленные на стимулирование переработки и ответственности производителей. Одним из значимых нововведений стало внедрение механизма расширенной ответственности производителя (РОП), вступившего в силу с 2024 года. Согласно реформе, производители и импортеры обязаны обеспечить 100 % утилизацию упаковки и товаров, утративших потребительские свойства, что создает финансовую мотивацию к развитию собственной перерабатывающей инфраструктуры или оплате экологического сбора [1]. Для субъектов, не осуществляющих самостоятельную переработку, ставка экологического сбора рассчитывается с учетом коэффициентов, стимулирующих использование вторичного сырья, а требования к учету и отчетности обеспечивают прослеживаемость сырья [2].

Юридическое закрепление понятий «вторичные ресурсы» и «вторичное сырье» с 1 марта 2023 года стало важным шагом для вовлечения отходов в производственный цикл. Вторичные ресурсы определяются как отходы, пригодные для повторного использования в производстве товаров, оказании услуг или для получения энергии, тогда как вторичное сырье является конечным продуктом переработки, готовым к промышленному применению. Эта нормативная база упрощает оборот сырья, стимулирует раздельный сбор и повышает эффективность использования ВР.

На федеральном уровне управление и координацию деятельности по обращению с вторичными ресурсами осуществляет Министерство промышленности и торговли Российской Федерации (Минпромторг России) совместно с Российским экологическим оператором (РЭО). Минпромторг разрабатывает отраслевые программы и стратегические инициативы, регулирует стандарты переработки и стимулирует внедрение новых технологий, включая химический и механический рециклинг пластика, переработку электронных и строительных отходов. Российский экологический оператор координирует работу региональных операторов, ведет учет ТКО и внедряет современные инструменты контроля и отчетности, обеспечивая прозрачность и эффективность системы [3].

Региональные органы власти отвечают за реализацию федеральной политики на местах, разработку региональных программ переработки отходов, надзор за объектами II и III категорий по объемам отходов и их переработке, а также управление региональными ресурсами. Например, в субъектах с развитой инфраструктурой (Московская и Белгородская области, Санкт-Петербург, Татарстан) внедряются двухконтейнерные системы сбора, работают крупные экотехнопарки, а доля переработки ТКО приближается к федеральным целевым показателям. В удаленных регионах, особенно на Дальнем Востоке и Крайнем Севере, существуют проблемы логистики и недостаток мощностей, что затрудняет эффективное вовлечение вторичного сырья.

Основные виды вторичных ресурсов включают пластик, бумагу и картон, металлы и стекло, а также специализированные отходы, такие как резинотехнические изделия, строительные материалы и электронное оборудование. Пластик перерабатывается в гранулы для производства упаковки и синтетического волокна, бумага и картон – в гофрокартон и строительные материалы, металлы – многократно, что обеспечивает значительную экономию энергии, а стекломой – в новую тару и строительные материалы. Специализированные отходы перерабатываются с использованием механических и высокотехнологичных гидро- и пирометаллургических процессов, позволяя извлекать ценные металлы и создавать вторичное сырье для промышленного применения [4].

Отрасль сталкивается с рядом проблем, включая низкое качество сортировки отходов, высокие экономические и логистические барьеры, недостаток мощностей глубокой переработки и нестабильный спрос на продукцию из вторичного сырья. Стоимость первичного сырья часто ниже вторичного, что снижает экономическую привлекательность переработки, а

расстояния между источниками отходов и перерабатывающими предприятиями повышают логистические издержки.

В перспективе развитие отрасли строится на реализации принципов экономики замкнутого цикла. Национальные проекты и федеральные программы предусматривают к 2030 году обеспечение 100 % сортировки ТКО и двукратное сокращение захоронения отходов [5]. Государство стимулирует переработку через субсидии, налоговые льготы и льготное кредитование, а также внедрение механизма экологического заказа, обеспечивающего гарантированный сбыт продукции из вторичного сырья. Эти меры создают условия для масштабного вовлечения ВР в промышленный оборот и перехода к цикличной экономике.

Таким образом, система утилизации вторичных ресурсов в России представляет собой многоуровневый механизм управления, где стратегическое планирование и нормативное регулирование сосредоточено на федеральном уровне, координация и надзор — на региональном, а непосредственная реализация переработки — на уровне операторов и муниципальных структур. Современные инициативы направлены на повышение технологической глубины переработки, цифровизацию контроля и стимулирование экономической активности в отрасли, однако дальнейшее совершенствование системы требует расширения инфраструктуры, унификации подходов к переработке и усиления экологической ответственности населения и бизнеса.

### **Список литературы**

1. *Об отходах производства и потребления: Федеральный закон от 24.06.1998 г. № 89-ФЗ (в ред. от 25.12.2023) // Доступ из справочно-правовой системы «КонсультантПлюс».*
2. *Об утверждении перечня видов отходов от использования товаров...: Постановление Правительства РФ от 29.12.2023 г. № 2394 // Доступ из справочно-правовой системы «Гарант».*
3. *Отчетные данные о ходе реализации федерального проекта «Комплексная система обращения с ТКО» за 2023 год / Российский экологический оператор (РЭО). – [Электронный ресурс]. – URL: <https://reo.ru/news/> (дата обращения: 03.11.2025).*
4. *Проект отраслевой программы «Применение вторичных ресурсов и вторичного сырья из отходов в промышленном производстве» / Минпромторг России. – [Документ, определяющий приоритетные направления переработки].*
5. *Паспорт национального проекта «Экология»: утвержден Президиумом Совета при Президенте Российской Федерации по стратегическому развитию и национальным проектам (протокол от 24 декабря 2018 г. № 16).*

# **ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ КОНТРОЛЬ В РОССИИ: РОЛЬ ФЕДЕРАЛЬНЫХ АГЕНТСТВ И РЕГИОНОВ В СИСТЕМЕ ОХРАНЫ ПРИРОДЫ**

А.А. Гусак, Н.Н. Афанасьева  
Тульский государственный университет,  
г. Тула

***Аннотация.** В Российской Федерации функционирует сложный, многоуровневый механизм государственного управления и экологического контроля в сфере природопользования и охраны окружающей среды. Данная система служит цели обеспечения рационального использования природных ресурсов, сохранения благоприятной экологической обстановки и соблюдения экологической безопасности. В статье анализируется иерархическая структура этого механизма, включая роли федеральных агентств (Минприроды, Росприроднадзор) и органов власти субъектов РФ.*

Система государственного управления в сфере природопользования и охраны окружающей среды в России представляет собой сложный, многоуровневый механизм, целью которого является обеспечение рационального использования природных ресурсов, сохранение благоприятной экологической обстановки и соблюдение экологической безопасности. Правовой основой функционирования этой системы служат Конституция Российской Федерации [1], Федеральный закон от 10.01.2002 № 7-ФЗ «Об охране окружающей среды» и многочисленные отраслевые акты, а также Федеральный закон № 248-ФЗ «О государственном контроле (надзоре)...». Эффективность системы определяется четким разграничением полномочий между федеральными органами исполнительной власти, органами власти субъектов РФ и органами местного самоуправления.

Система управления природопользованием построена по иерархическому принципу, закреплённому в законодательстве, и включает три основных уровня, где функции государственного экологического надзора строго разделены. Федеральный уровень отвечает за разработку единой государственной политики, нормативно-правовое регулирование, осуществление федерального государственного экологического надзора за объектами I категории негативного воздействия, а также управление федеральными природными ресурсами (недра, леса на землях обороны, водные объекты федерального значения). Региональный уровень (субъекты РФ) участвует в реализации федеральной политики, разрабатывает региональные программы, осуществляет региональный надзор за объектами II и III категорий и управляет региональными ресурсами. Местный уровень (муниципальное самоуправление) фокусируется на организации сбора и вывоза ТКО, муниципальном земельном контроле (в части экологических требований) и просвещении, при этом полномочия прямого экологического надзора на этом уровне ограничены и переданы субъектам РФ.

На федеральном уровне управление сосредоточено в ведомствах, находящихся в ведении Правительства РФ, с ключевой ролью Министерства природных ресурсов и экологии Российской Федерации (Минприроды России).

Минприроды является центральным органом, ответственным за выработку и реализацию государственной политики, а также нормативно-правовое регулирование. Его координирующая роль закреплена в Положении о Министерстве [3]. Министерство осуществляет разработку федеральных законов, утверждение государственных программ и стратегий (например, в области обращения с отходами и развития ООПТ), установление порядка ведения государственного экологического мониторинга (ГЭМ), а также нормативное регулирование в области рационального использования недр, водных ресурсов, лесов и животного мира.

Основным контрольно-надзорным органом в сфере экологии является Федеральная служба по надзору в сфере природопользования (Росприроднадзор). С принятием Федерального закона № 248-ФЗ ее деятельность перешла на риск-ориентированный подход, фокусируясь на объектах с высоким риском негативного воздействия [4]. Ключевая роль службы заключается в осуществлении федерального государственного экологического надзора, который включает проверки, инспекции и привлечение к административной ответственности. Росприроднадзор выступает как регулятор и контролер в отношении предприятий, оказывающих существенное негативное воздействие на окружающую среду, отвечая за выдачу комплексных экологических разрешений (КЭР) для объектов I категории. Также в ее функции входит расчет и взимание платы за негативное воздействие на окружающую среду (НВОС), ведение государственного кадастра отходов и организация проведения государственной экологической экспертизы (ГЭЭ) федерального уровня.

Подведомственные Минприроды агентства выполняют функции по управлению федеральным имуществом и непосредственной реализацией политики в конкретных отраслях природопользования. Так, Роснедра управляет государственным фондом недр, занимаясь лицензированием и проведением экспертиз запасов полезных ископаемых. Росводресурсы отвечает за управление водным фондом РФ, включая предоставление прав пользования водными объектами и защиту от негативного воздействия вод. Наконец, Рослесхоз осуществляет управление лесами, их охрану, защиту и воспроизводство, а также обеспечивает федеральный государственный лесной надзор.

Полномочия субъектов РФ установлены статьей 6 Федерального закона № 7-ФЗ. Региональные органы власти (департаменты и комитеты по экологии) разрабатывают и реализуют региональные программы, осуществляют региональный государственный экологический надзор в отношении объектов II и III категорий, управляют региональными природными ресурсами и организуют государственную экологическую экспертизу регионального уровня.

В Тульской области функции регионального управления природопользованием и экологией возложены на Министерство сельского хозяйства, природных ресурсов и экологии Тульской области. Такое объединение является типичным для многих субъектов РФ, где эффективное управление природными ресурсами тесно связано с развитием сельского хозяйства. В компетенцию этого Министерства входит региональный



государственный надзор в области охраны окружающей среды и регулирование лесных и водных отношений. Надзор федерального уровня в Тульской области осуществляется Приокским межрегиональным управлением Росприроднадзора. Это управление выполняет федеральный государственный экологический надзор на территории региона, фокусируясь на объектах I категории негативного воздействия – крупных промышленных предприятиях. Взаимодействие этого федерального надзорного органа с региональным Правительством является ключевым для обеспечения экологической безопасности и стабильности в регионе.

Роль муниципалитетов фокусируется на вопросах местного значения, имеющих экологическую составляющую. Их основные функции включают организацию полного цикла обращения с твердыми коммунальными отходами (ТКО) на территории соответствующих районов. Кроме того, органы местного самоуправления осуществляют контроль за соблюдением правил благоустройства, ведут экологическое просвещение и выполняют отдельные государственные полномочия, переданные им законами субъектов РФ.

Таким образом, система органов управления в области природопользования в России представляет собой сложную вертикаль власти, где стратегическое планирование и нормативное регулирование сосредоточено на федеральном уровне (Минприроды, Росприроднадзор), а непосредственная реализация политики, контроль и реагирование на местах возложены на региональные и муниципальные структуры. Современный экологический контроль характеризуется переходом к цифровым и риск-ориентированным моделям, направленным на профилактику нарушений и снижение административной нагрузки на добросовестные предприятия [5]. Однако дальнейшее совершенствование системы требует повышения эффективности межведомственного взаимодействия, унификации региональных подходов к надзору и усилению экономического стимулирования природоохранной деятельности.

### **Список литературы**

1. Конституция Российской Федерации (принята всенародным голосованием 12.12.1993) (с учетом поправок, одобренных в ходе общероссийского голосования 01.07.2020). – Текст: электронный // Официальный интернет-портал правовой информации.

2. Об охране окружающей среды: Федер. закон от 10.01.2002 № 7-ФЗ (в ред. от 25.12.2023). – Текст: электронный // Официальный интернет-портал правовой информации.

3. Об утверждении Положения о Министерстве природных ресурсов и экологии Российской Федерации и о внесении изменений в некоторые акты Правительства Российской Федерации: Постановление Правительства РФ от 29.05.2008 № 404 (в ред. от 24.11.2023). – Текст: электронный // Официальный интернет-портал правовой информации.

4. О государственном контроле (надзоре) и муниципальном контроле в Российской Федерации: Федер. закон от 31.07.2020 № 248-ФЗ (в ред. от 13.06.2023).

5. Доклад о результатах и основных направлениях деятельности  
Федеральной службы по надзору в сфере природопользования за 2023 год /  
Росприроднадзор.

## ЭКОЛОГИЧНАЯ РЕКОНСТРУКЦИЯ И РЕСТАВРАЦИЯ

Т.А. Головачева  
Тульский государственный университет,  
г. Тула

**Аннотация.** Исследования последних лет показывают, что использование природных и современных технологий может позволить обеспечить сохранение исторического облика объектов и в то же время снизить негативное воздействие на окружающую среду. В статье рассмотрены подходы к внедрению в реконструкцию и реставрацию существующих зданий и сооружений экологических методов и материалов. Сделанные выводы показывают, что важно создать комплексную методику, которая учитывает стратегию устойчивого развития в сложившихся условиях в России.

**Ключевые слова:** устойчивая архитектура, реконструкция зданий, экологичные материалы, энергоэффективность, реставрация исторического наследия.

Исторические здания и ветхий жилищный фонд городов представляют собой значительную часть архитектурного наследия. В России проблема накопления неиспользуемых и требующих восстановления объектов осложняется необходимостью соответствия современным экологическим стандартам и энергоэффективности.

Научные исследования показывают, что архитектура и строительство играют ключевую роль в антропогенном воздействии на природу. В России при проектировании экологических объектов архитекторы часто используют отдельные приёмы – устанавливают солнечные панели, делают «зелёные» крыши, применяют эффективные утеплители – но при этом не учитывают целостный подход. Следовательно, необходима комплексная методология реконструкции, включающая архитектурные, инженерные и социальные аспекты.

Выбор материалов – ключевой фактор экологичной реконструкции. Традиционные методы восстановления исторических зданий часто применяют современные цементные составы и синтетические покрытия, которые нарушают естественный обмен влагой между стеной и окружающей средой, приводя к постепенному разрушению оригинальных конструкций.

Использование натуральных материалов обеспечивает лучшую согласованность физических свойств с исторической конструкцией. Натуральный известковый раствор обладает паропроницаемостью, позволяя конструкциям дышать и предотвращая накопление влаги во внутренних слоях. Глиняные штукатурки и составы на основе возобновляемых ресурсов демонстрируют долговечность при условии правильного применения и выполняют функции регуляции влажности в помещениях.



Лазерная очистка фасадов без применения агрессивных химикатов может стать альтернативой традиционным методам, сохраняя оригинальную структуру материала. Фотокаталитические могут не только защитить поверхности от загрязнений и биопленок, но и способствовать снижению содержания вредных веществ в городской атмосфере.

Формирование экологичной реконструкции базируется на фундаментальных принципах устойчивого развития. Академик Российской академии архитектуры и строительных наук Г.В. Есаулов определяет устойчивую архитектуру как экологически ориентированную архитектуру высоких технологий, целью которой является удовлетворение потребностей текущего поколения без снижения возможностей будущих поколений.

1. Энергоэффективность. Внедрение современной теплоизоляции, установка систем рекуперации тепловой энергии, герметизация окон существенно сокращают операционные выбросы углекислого газа, так как все эти меры направлены на сохранение тепла, следовательно уменьшают потребление энергии для поддержания комфортной температуры, а значит, сокращают количество CO<sub>2</sub>, которое выбрасывается при производстве этой энергии.

2. Водосбережение. Системы сбора и повторного использования дождевой воды, установка современных счетчиков и регуляторов позволяют минимизировать потребление пресной воды. По результатам практических проектов, реконструируемые здания могут экономить до 24 млн литров воды ежегодно.

3. Озеленение и интеграция в ландшафт. Зеленые крыши и стены не только улучшают микроклимат зданий, снижая затраты на отопление на 20-30 %, но и способствуют созданию биоразнообразия в городской среде.

Внедрение комплексного экоподхода в российской практике встречает ряд препятствий. Первая проблема – фрагментарность применения экоприемов. Архитекторы и застройщики часто выбирают отдельные элементы зеленого строительства без системного введения и без учета жизненного цикла здания. Второе препятствие заключается в несоответствии российских экостандартов требованиям фактического проектирования. Действующие нормативы уделяют недостаточное внимание архитектурно-планировочным решениям, сосредотачиваясь на технических аспектах. Здание может формально соответствовать нормам по теплоизоляции и инсоляции, но неправильная ориентация окон или расположение помещений может привести к избыточному потреблению энергии для отопления и освещения. Третья проблема – экономическая целесообразность. Вопросы введения современных систем энерго- и водосбережения, увеличения процента озеленения территории часто считаются неоправданными с экономической точки зрения. Но долгосрочная перспектива показывает, что вложения в экологичную реконструкцию компенсируются снижением эксплуатационных расходов и повышением рыночной стоимости недвижимости. Проект Сибирского федерального университета в Красноярске показывает возможность практического внедрения принципов устойчивой архитектуры в суровых климатических условиях.

Созданная зеленая крыша с древесной и кустарниковой растительностью снижает затраты на отопление на 20 %, продлевает срок службы кровельных конструкций и создает комфортный микроклимат для использования кровельного пространства.

Экологичная реконструкция и реставрация представляют собой стратегическое направление развития архитектуры в условиях экологического кризиса. Успех этого направления зависит от преодоления фрагментарности в применении экоприемов и формирования целостной методологии, ориентированной на специфику российских условий: климатических, исторических и социальных. Необходимо развивать подход, объединяющий технические инновации с уважением к архитектурному наследию. Такая методология позволит архитекторам и строителям вносить конкретный вклад в достижение целей устойчивого развития, сохраняя культурное разнообразие городов и улучшая качество жизни их жителей.

### **Список литературы**

1. Сухинина Е.А. Анализ методов экологической оценки градостроительных проектных решений / Е.А. Сухинина. – *Градостроительство и архитектура*, 2022. – Т 12. – № 1. – С. 123-132.
2. Есаулов Г.В. Энергоэффективность и устойчивая архитектура как векторы развития / Г.В. Есаулов. – *АВОК: Вентиляция. Отопление. Кондиционирование*, 2015. – № 5. – С. 4-11.

## **К ВОПРОСУ О ПРИМЕНЕНИИ НОВЫХ ЭКОЛОГИЧЕСКИ БЕЗОПАСНЫХ ВИДОВ ЭНЕРГИИ**

Е.М. Костина

Тульский государственный университет,  
г. Тула

***Аннотация.** Статья посвящена вопросам применения новых экологически безопасных видов энергии. Рассматривается безопасная энергетика, выявляются преимущества и недостатки.*

В настоящее время мир переживает экологический кризис. Такой вопрос, как рост концентрации парниковых газов, а также истощение ископаемых ресурсов, загрязнение воздуха и воды требует кардинального пересмотра подходов к производству энергии. Возобновляемые источники энергии превратились в обязательное требование для обеспечения устойчивого развития, а не просто в один из возможных вариантов. Одним из главных преимуществ является то, что при их использовании пагубное влияние на окружающую среду минимизируется.

Суть понятия «экологически безопасная энергетика» заключается во взаимосвязи энергетических технологий, которые характеризуются минимальным негативным воздействием на природную среду. Их главными

преимуществами можно назвать следующие факторы: во-первых, при выработке энергии они практически не выделяют парниковых газов, во-вторых, опираются на ресурсы, которые либо не истощаются вовсе, либо восстанавливаются в достаточно короткие сроки, и в-третьих, предусматривают комплекс мер по снижению нагрузки на фундаментальные природные экосистемы.

Примерами общеизвестных видов экологически безопасной энергетики являются солнечные батареи и ветроэлектростанции, гидроэнергетические установки, биоэнергетические системы. Все эти направления действуют согласно единому принципу: вырабатывать энергию, не нанося ощутимого вреда окружающей среде, опираясь при этом на природные процессы, которые постоянно возобновляются.

*Солнечная энергетика.* Солнечная энергетика использует энергию Солнца для производства электричества и тепла. Ключевыми преимуществами можно назвать: экологичность, модульность и долговечность. Главными минусами является зависимость от погодных условий и времени суток и высокая стоимость накопителей энергии. За последнее десятилетие стоимость солнечной энергии значительно снизилась, что стало следствием популярности использования данного типа источников энергии.

*Ветроэнергетика.* Ветроэнергетика преобразует кинетическую энергию ветра в электричество с помощью ветрогенераторов. Наиболее востребованы морские ветропарки в прибрежных государствах. Главным экологическим преимуществом является отсутствие выбросов. Наряду с положительными факторами присутствуют и негативные: высокий уровень шума и риски для птиц, требующие контроля со стороны человека.

*Гидроэнергетика.* Гидроэнергетика использует энергию водного потока для выработки электроэнергии. Крупные ГЭС отличаются высоким КПД, но нередко встречаются случаи затопления территорий и нарушения экосистем. Гораздо целесообразнее использовать малые ГЭС, которые оказывают минимальное воздействие на реки, а также стабильная выработка электроэнергии.

*Биоэнергетика.* Биоэнергетика основана на переработке органического сырья сельскохозяйственных отходов, древесной щепы, водорослей и биогаза. Основным преимуществом является утилизация отходов. Явными недостатками можно назвать конкуренцию с продовольственным сектором за земельные ресурсы и выбросы оксидов азота при сжигании сырья.

Таким образом, переход на экологически безопасные виды энергии является необходимым для сохранения биосферы. Солнечная, ветровая, гидроэнергетика и биоэнергетика снижают выбросы парниковых газов и опираются на возобновляемые ресурсы, но имеют ограничения: зависимость от природных условий, высокую стоимость инфраструктуры и конкуренцию за земли. Необходимо объединить усилия государства, бизнеса и общества и развивать соответствующие технологии.

### Список литературы

1. Мулкиев Ч. Технологические инновации и новшества в области альтернативных источников энергии / Ч. Мулкиев, С. Батыров // Международный научный журнал «Инновационная наука». – №2.2/2025. – С.68-69.
2. Теодорович Н.Н. Альтернативная энергетика: перспективы развития / Н.Н. Теодорович, Г.Н. Исаева // Интернет журнал «НАУКОВЕДЕНИЕ». – Том 8, №6. (ноябрь-декабрь 2016г.) – С. 1-2. (<https://cyberleninka.ru/article/n/alternativnaya-energetika-perspektivy-razvitiya/viewer>)
3. Безруких П.П. Возобновляемая энергетика: сегодня – реальность, завтра – необходимость / П.П. Безруких. – М.: ИД «Энергия», 2021. – С.47-51.

## ПЕРСПЕКТИВЫ ОСВОЕНИЯ ПОДЗЕМНОГО ПРОСТРАНСТВА

К.А. Кузьмина, Ю.Н. Пушилина  
Тульский государственный университет,  
г. Тула

***Аннотация.** В статье рассматриваются современные проблемы освоения подземного пространства. Выявление перспектив развития в этой области в пределах современных городов.*

Освоение подземного пространства является важной задачей современного градостроительства и развития инфраструктуры городов. Подземные территории предоставляют уникальные возможности для решения ряда проблем, связанных с ограниченностью наземных ресурсов, необходимостью улучшения транспортной доступности, повышения уровня комфорта проживания и экологической устойчивости городской среды.

Подземное пространство имеет ряд преимуществ перед наземным использованием территорий:

- Оно не подвержено влиянию погодных условий и сезонных изменений климата.

- Под землей легче контролировать процессы теплообмена и влажности, что облегчает создание оптимальных условий для хранения продуктов питания, материалов и оборудования.

- Расширяется потенциал урбанизации путем переноса части инфраструктуры и социальных объектов под землю, снижая нагрузку на земную поверхность.

Среди основных направлений освоения подземного пространства выделяются:

***Транспорт.** Строительство метрополитенов и подземных дорог значительно разгружает уличное движение, сокращает выбросы вредных веществ и улучшает качество воздуха в городах. Метро давно стало неотъемлемой частью крупных мегаполисов мира, таких как Москва, Нью-Йорк, Токио и Лондон.*

*Инженерные коммуникации.* Прокладка инженерных сетей под землей защищает их от повреждений, увеличивает срок службы и упрощает доступ для обслуживания и ремонта. Водопроводы, газовые магистрали, линии электропередач размещаются под поверхностью улиц, позволяя освободить дорожное полотно для автомобильного транспорта.

*Социальные объекты.* Подземные парковки, торговые центры, культурные учреждения и медицинские заведения позволяют существенно увеличить плотность застройки, сохраняя зеленые зоны и рекреационные площади на земле.

*Энергия и ресурсобеспечение.* Использование подземных вод и геотермальной энергии открывает новые горизонты в сфере альтернативной энергетики. Подземные резервуары и склады углеводородов помогают минимизировать риск пожаров и взрывов.

#### Проблемы и риски.

Несмотря на многочисленные преимущества, освоение подземного пространства связано с определенными трудностями и опасениями:

- Высокая стоимость строительных работ под землей требует значительных финансовых вложений и инновационных технологий.
- Технические трудности связаны с нестабильной структурой грунта, наличием грунтовых вод и высоким уровнем давления.
- Экологические последствия требуют тщательного анализа воздействия подземных сооружений на окружающую среду и здоровье людей.

#### Перспективы и будущее.

Сегодня многие государства активно работают над проектами расширения подземного пространства. Примером служат проекты в Китае, Японии, Франции и России, направленные на использование подземных зон для целей общественного пользования и промышленности.

Развитие новых технологий бурения, проектирования и строительства позволяет надеяться на решение существующих технических и экономических барьеров. Современные инженерные разработки, роботизированные системы мониторинга и управления способствуют повышению эффективности и безопасности эксплуатации подземных пространств.

Таким образом, освоение подземного пространства является важным направлением современной урбанистики, способствующим устойчивому развитию городов и улучшению качества жизни горожан.

#### **Список литературы**

1. СП 473.1325800.2019 «Основные градостроительные принципы регулирования освоения подземного пространства в России».
2. Статья «К вопросу необходимости освоения подземного пространства городов» Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова 2016, №11.
3. Сборник статей. «Архитектура и дизайн в многопрофильном университете: проблемы образования и науки». Статья: «Освоение подземного пространства как решение проблем урбанизации городов».

# **ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ АРХИТЕКТУРНО-ПЛАНИРОВОЧНОЙ ОРГАНИЗАЦИИ ПОСЕЛКОВЫХ ТЕРРИТОРИЙ (НА ПРИМЕРЕ ЗАОКСКОГО РАЙОНА ТУЛЬСКОЙ ОБЛАСТИ)**

Ю.Н. Пушилина, В.А. Воробьева  
Тульский государственный университет,  
г. Тула

***Аннотация.** В статье исследуются экологические проблемы и потенциал устойчивого развития населенных пунктов поселкового типа на примере Заокского района Тульской области. Рассматриваются вопросы рационального природопользования, обращения с отходами, сохранения биоразнообразия и внедрения «зеленых» технологий как основы для совершенствования их архитектурно-планировочной организации. Предложены рекомендации по интеграции экологических принципов в планировочные решения.*

Современное развитие поселений, особенно в зонах с богатым природным и рекреационным потенциалом, каким является Заокский район Тульской области, требует комплексного подхода, гармонично сочетающего градостроительные задачи с экологическими ограничениями и возможностями [1]. Архитектурно-планировочная организация таких территорий напрямую влияет на состояние окружающей среды, качество жизни населения и устойчивость экосистем.

Анализ современного экологического состояния населенных пунктов Заокского района позволил выявить ключевые проблемы:

1. Система обращения с твердыми коммунальными отходами (ТКО): отсутствие эффективной системы селективного сбора и утилизации ТКО приводит к образованию несанкционированных свалок, загрязняющих почвы и грунтовые воды.

2. Очистка сточных вод: индивидуальные жилые дома часто не имеют локальных эффективных очистных сооружений, что является источником загрязнения водных объектов.

3. Сохранение биоразнообразия: стихийная урбанизация и нерациональное использование территорий ведут к фрагментации природных ландшафтов.

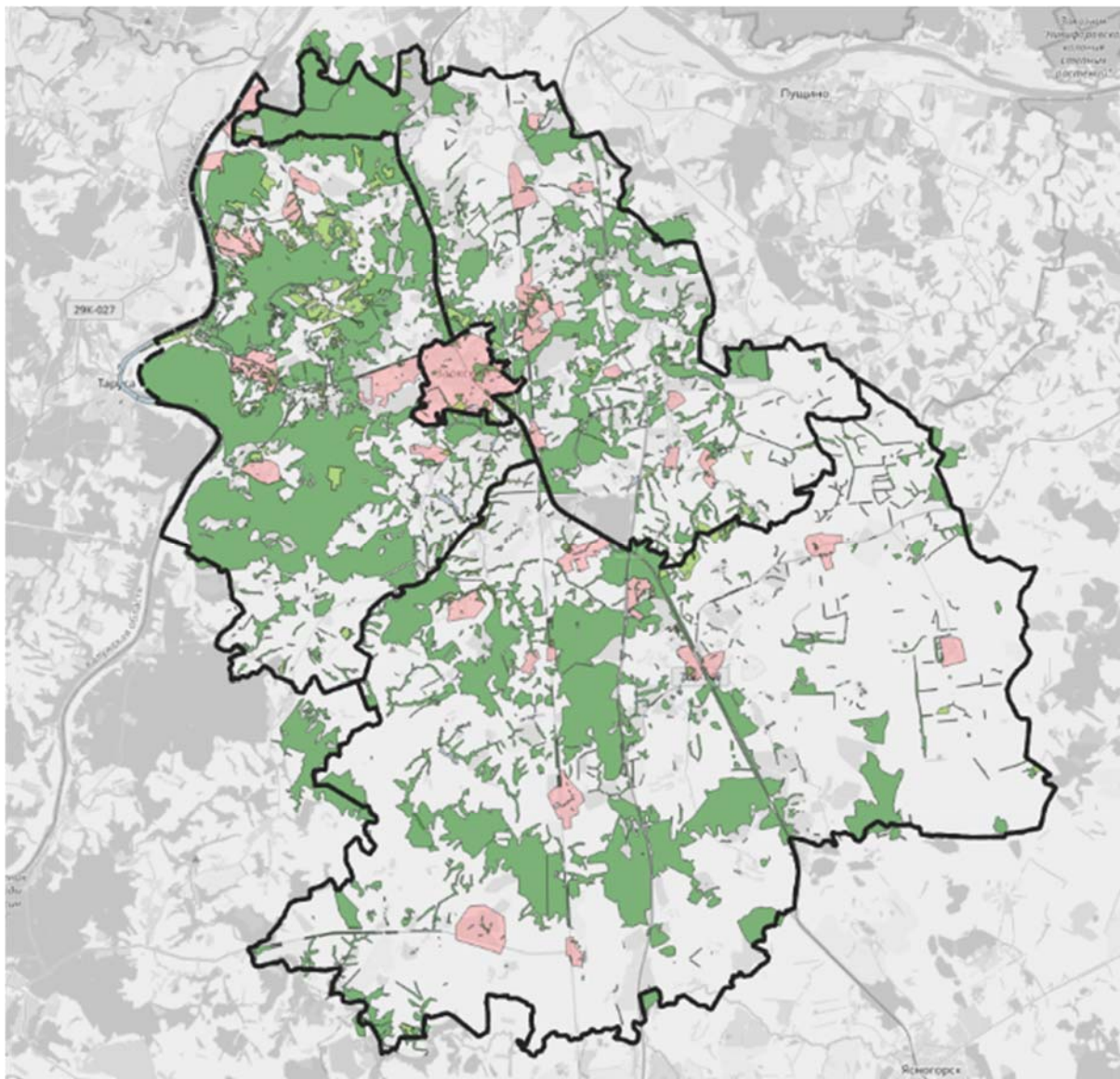
В контексте совершенствования архитектурно-планировочной организации предлагаются следующие меры, направленные на решение этих проблем:

— Внедрение кластерного подхода к утилизации отходов: организация на межпоселенческом уровне современных мусоросортировочных станций и пропаганда раздельного сбора отходов среди населения.

— Интеграция природно-технических систем: проектирование и строительство локальных биологических очистных сооружений для групп домовладений или всего поселка, использование биоплато для доочистки поверхностных стоков.

— Формирование экологического каркаса: включение в планировочную структуру поселков зеленых коридоров, буферных зон вдоль водных объектов и

рекреационных кластеров, что способствует сохранению биоразнообразия и улучшает микроклимат (Рисунок).



Принципиальная схема интеграции элементов экологического каркаса (зеленые зоны, водные объекты, буферные территории) в планировочную структуру поселков в Заокском районе, на которой розовым цветом обозначены поселки, а зеленым – экологический каркас района

Совершенствование архитектурно-планировочной организации населенных пунктов Заокского района невозможно без учета экологического компонента. Предложенные решения в области обращения с отходами, водоотведения и формирования экологического каркаса позволяют перейти к модели устойчивого развития, обеспечивающей комфортную среду обитания для населения при сохранении природного потенциала территории. Реализация данных принципов требует разработки соответствующей градостроительной документации и активного участия местного сообщества.



### Список литературы

1. Градостроительный кодекс Российской Федерации. – М.: Проспект, 2024.
2. Постановление Правительства РФ от 12.09.2023 «Об утверждении требований к мероприятиям по снижению негативного воздействия на окружающую среду». – Собрание законодательства РФ, 2023.
3. Мичурина Ф.З. Устойчивое развитие сельских территорий: учебное пособие / Ф.З. Мичурина, Л.И. Теньковская, С.Б. Мичурин; под ред. проф. Ф.З. Мичуриной; М-во с.-х. РФ, федеральное гос. бюджетное образов. учреждение высшего образования «Пермская гос. с.-х. акад. им. акад. Д.Н. Прянишникова». – Пермь: ИПЦ «Прокрость», 2016. – 293 с. ISBN 978-5-94279.
4. Официальный сайт администрации МО Заокский район. [Электронный ресурс]. – URL: <http://заокский-район.рф> (дата обращения: 10.11.2025).

## ВИДЕОЭКОЛОГИЯ. ГОМОГЕННАЯ ВИДИМАЯ СРЕДА В ГОРОДЕ

А.А. Баранова

Тульский государственный университет,  
г. Тула

***Аннотация.** Статья посвящена вопросам видеоэкологии. Видеоэкология создаёт основу для гармонизации городской среды путём снижения визуальной перегруженности и повышения структурной согласованности элементов.*

Видеоэкология – это научная дисциплина, которая изучает влияние визуальной среды на здоровье и психофизиологическое состояние человека. Воспринимаемые нами образы окружающего мира возникают в процессе взаимного влияния наблюдателя и среды. Среда предоставляет множество визуальных элементов, а человек, руководствуясь своими потребностями, отбирает, структурирует и интерпретирует то, что видит. Сформировавшись, образ начинает упорядочивать восприятие, акцентируя одни детали и отфильтровывая другие. При этом он постоянно корректируется в ходе непрерывного взаимодействия с новыми впечатлениями. Современный город характеризуется высокой плотностью визуальных стимулов: рекламой, разнородной архитектурой, информационными знаками, динамическими элементами. Такая среда повышает когнитивную нагрузку и приводит к визуальному стрессу.

Для своего оптимального существования человек должен иметь благоприятную среду, соответствующую физиологическим нормам. Но есть и агрессивная визуальная среда, формирующая агрессивные видимые поля, на которых равномерно рассредоточено большое число одинаковых элементов. Современная архитектура в большинстве случаев представляет собой агрессивную видимую среду в городе. Это присуще всем многоэтажным



зданиям, где на огромной стене рассредоточено большое число окон. Раньше в процессе проектирования здания появлялись невыразительные фасады, но архитектор умел насытить их деталями. Теперь такие стены стали нормой градостроительной практики и появляются не только при возведении панельного дома, но и при использовании кирпичной кладки.

Основная причина ухудшения визуальной среды городов заключается в том, что видеоэкология как научная дисциплина появилась слишком поздно. Можно предположить, что столь масштабных проблем удалось бы избежать, если бы эта отрасль сформировалась раньше и своевременно предупредила о негативных последствиях существующих подходов к созданию городской среды. Однако развитие видеоэкологии явно отстало от потребностей времени.

Комфортная визуальная среда способна решить многие проблемы восприятия: она формирует чувство удобства в городском пространстве благодаря гармоничному охвату пространства, сочетанию различных объемов, чередованию крупных и мелких плоскостей, а также значительным зонам озеленения. Декоративные элементы, выступающие как функциональные и архитектурные детали, являются важной частью построек, обеспечивая разнообразие визуального восприятия. Без этих компонентов полноценная работа зрения невозможна.

Криволинейные формы с разной толщиной и контрастностью, острые углы, формирующие силуэты, богатая цветовая палитра, плотность деталей и их различная удалённость – всё это характерные особенности благоприятной визуальной среды. Без сомнения, наиболее естественной и комфортной для человеческого глаза является природа, где зрительная система функционирует максимально эффективно. Следовательно, искусственная среда должна стремиться к тому, чтобы быть максимально приближенной к природной.

Видеоэкологический подход позволяет формировать экологичную, визуально устойчивую среду. Несмотря на то, что данная научная дисциплина появилась не так давно, благодаря ее принципам сегодня существует большое количество вариантов для переустройства городского пространства. Видеоэкология создаёт основу для гармонизации городской среды путём снижения визуальной перегруженности и повышения структурной согласованности элементов. Формирование гомогенной видимой среды обеспечивает стабильную работу зрительной системы и улучшает качество городской жизни. Разработка и внедрение видеоэкологических регламентов – это ключевое направление устойчивого развития городов.

### **Список литературы**

1. Ерофеева В.В. *Экология города и безопасность жизнедеятельности человека: учебник* / В.В. Ерофеева, В.В. Глебов, С.Л. Яблочников. *Экология города и безопасность жизнедеятельности человека, Весь срок охраны авторского права.* – Москва: Ай Пи Ар Медиа, 2024. – С. 78.

2. Токарева О.Ю. *Безопасность городской среды [Электронный ресурс]: учебное пособие* / О.Ю. Токарева, Т.В. Турушева. – Чита: ЗабГУ, 2022. – С.62-63.

3. Рябов В.М. Организм и городская среда [Электронный ресурс]: учебное пособие / Рябов В.М., Рябова Е.В. – Киров: ВятГУ, 2020. – С.24.

4. <chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/http://psypgups.ru/publications/shteinbahelenskypsydivespace.pdf> (Дата обращения 14.10.2025г.).

5. [chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/http://www.heraldrusias.ru/download/articles/07\\_\\_Article\\_\\_Filin.pdf](chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/http://www.heraldrusias.ru/download/articles/07__Article__Filin.pdf) (Дата обращения 14.10.2025г.).

## **ВЛИЯНИЕ ВЫСОТНОЙ ЗАСТРОЙКИ НА ЭКОЛОГИЮ И РАЗВИТИЕ СОВРЕМЕННОЙ ГОРОДСКОЙ СРЕДЫ**

С.Д. Гавриленко

Тульский государственный университет,  
г. Тула

**Аннотация.** Статья посвящена комплексному анализу влияния высотной застройки на параметры функционирования современного города. Исследуются пространственные, социальные, экологические и транспортные эффекты высотных зданий, а также международные и российские модели их применения. Проведено сравнение существующих подходов к формированию высотной среды в Сингапуре, Гонконге, Нью-Йорке и крупных городах России. На основе обобщения научных публикаций предложены направления повышения устойчивости и качества высотной застройки. Результаты исследования могут быть использованы при разработке градостроительных регламентов и стратегий развития городских территорий.

Последние десятилетия характеризуются значительным увеличением масштабов высотного строительства, что связано с ростом плотности населения, изменением методов территориального планирования и развитием инженерно-строительных технологий. Высотная застройка оказывает многоаспектное воздействие на городской организм: формирует плотность, определяет характер уличного пространства, влияет на экологические параметры, транспортную доступность и качество жизни.

Анализ современных исследований показывает, что достоинства высотной застройки проявляются одновременно с существенными вызовами, связанными с перегрузкой инфраструктуры, инсоляционными ограничениями, изменением ветровых характеристик и социальной неоднородностью. Эти факторы определяют необходимость разработки сбалансированного подхода к применению высотных зданий.

Цель исследования – выявление закономерностей влияния высотной застройки на городскую среду и формирование рекомендаций по её совершенствованию.

*Факторы развития высотной застройки*

*Экономические предпосылки*

- рост стоимости городской земли и ограниченность свободных территорий;

- увеличение показателей плотности благодаря высокому коэффициенту использования территории (FAR), достигающему 3,0-5,0 в крупных городах;
- значительная роль девелоперских инвестиций.

#### *Урбанистические мотивы*

- стремление сократить маятниковую миграцию;
- формирование структур «компактного города»;
- повышение эффективности использования инфраструктуры.

#### *Социальные и технологические факторы*

- ориентация на центральные локации;
- развитие систем энергоэффективных фасадов;
- внедрение вертикального озеленения.

#### *Позитивные эффекты высотной застройки*

Исследования показывают, что высотная застройка способствует:

1. Оптимизации использования территории: плотность застройки возрастает в 2-3 раза по сравнению с обычной среднеэтажной структурой.
2. Компактности городской среды: сокращение количества ежедневных поездок и зависимости от личного транспорта.
3. Энергоэффективности: современные высотные здания демонстрируют снижение энергопотребления на 10-18 % за счёт улучшенной теплоизоляции и систем рекуперации.
4. Экономическому развитию: повышение инвестиционной привлекательности районов.

#### *Негативные эффекты*

К ключевым проблемам относятся:

1. Дефицит инсоляции и затенение уличного пространства.
2. Усиление ветровых потоков в нижних уровнях городской среды.
3. Рост транспортной нагрузки при недостаточном обеспечении инфраструктурой.
4. Вероятность социальной изоляции разных групп населения при крупномасштабной высотной застройке.
5. Дисгармония силуэтов города, особенно в районах исторической застройки.

#### *Сопоставительная характеристика*

Город	Средняя этажность	Плотность населения (чел/км <sup>2</sup> )	Характерные черты
Гонконг	35-45	27 000-30 000	экстремально высокая плотность, развитая многоуровневая структура
Сингапур	25-35	8 000	экологически ориентированная высотность, вертикальное озеленение
Нью-Йорк	20-25	26 000	строгие регламенты по инсоляции, step-back
Москва	12-20	9 000-12 000	точечная и квартальная застройка смешанного типа
Екатеринбург	20-40	3 000-4 500	активное развитие высотных жилых комплексов

#### *Общие выводы анализа*

- Сингапур достигает комфортных экологических параметров благодаря системной интеграции зелёных террас.
- В Гонконге высокая плотность компенсируется качеством транспортной доступности.
- В Нью-Йорке нормативы ступенчатого уменьшения объёмов здания существенно улучшают параметры уличной среды.
- В России наблюдается фрагментарное применение высотности без единой концепции для городских районов.

#### *Методы повышения качества высотной среды*

1. Регулирование аэродинамики и инсоляции на основе моделирования.
2. Формирование многоуровневой общественной инфраструктуры.
3. Развитие транспортно-ориентированного проектирования (TOD).
4. Интеграция зелёных технологий: сады на крышах, фасадное озеленение.
5. Дифференциация высотности внутри кварталов для уменьшения визуального давления.

#### *Заключение*

Высотная застройка является важным элементом современного городского развития. Её влияние на городскую среду многопланово и требует научно обоснованного регулирования. Применение предложенных подходов позволит обеспечить устойчивость городской среды, повысить комфортность проживания и увеличить эффективность использования территории.

#### **Список литературы**

1. Смирнов О.О. Влияние высотной застройки на город и городскую среду / О.О. Смирнов // *Жилищные стратегии*. – 2019. – Т. 6, № 1. – С. 45-64.
2. Smith J. *Urban Density and High-Rise Development* / J. Smith. – 2020. – 142p.
3. Cheng L. *High-Rise Living and Environmental Impacts* / L. Cheng. – 2019. – P. 58-64.
4. Глазычев В.Л. *Городская среда и архитектура мегаполиса* / В.Л. Глазычев. – 2018. – С.33-34.
5. Burdett R. *Shaping Cities in an Urban Age* / R. Burdett, P. Rode. – 2020. – 58p.
6. Нийт Т. *Плотность людей и чувство стесненности: теории и гипотезы* / Т. Нийт // *Человек в социальной и физической среде*. – Таллинн, 1983. – С.99-142.

## ОБЗОР ЗАГРЯЗНЕННЫХ ГОРОДОВ МИРА

А.И. Игнатьева

Тульский государственный университет,  
г. Тула

***Аннотация.** В статье представлены примеры наиболее загрязненных городов планеты. Рассматриваются причины, показатели загрязнения, последствия и потенциальные пути решения проблемы загрязнения окружающей среды. Внимание уделяется городам, столкнувшимся с острыми экологическими проблемами.*

Проблема загрязнения окружающей среды в наши дни приобрела поистине глобальный масштаб, став одним из ключевых вызовов для устойчивого развития человечества. Среди множества городов, страдающих от последствий интенсивной человеческой деятельности, особенно выделяются мегаполисы стран с быстрорастущей экономикой. Дели (Индия) и Пекин (Китай) являются красочными и наиболее тревожными примерами этого кризиса, демонстрируя катастрофическую ситуацию с качеством воздуха. В этих густонаселенных агломерациях концентрация вредных мелкодисперсных частиц PM<sub>2.5</sub> стабильно и в разы превышает, установленные Всемирной организацией здравоохранения (ВОЗ) безопасные, нормы, нанося непоправимый ущерб здоровью миллионов людей и локальным экосистемам.

Основные причины столь плачевной экологической обстановки носят комплексный характер. В Дели это, прежде всего, колоссальные выбросы от автотранспорта, включая устаревшие автобусы и мотоциклы, сжигание сельскохозяйственных остатков фермерами в близлежащих территориях, а также выбросы от промышленных предприятий и дровяных печей в бедных кварталах. В Пекине, несмотря на усилия властей, основным источником смога по-прежнему остается зависимость от угольных электростанций, обеспечивающих энергией растущую экономику и отопление в зимний период. К этому всему добавляются выхлопные газы от миллионов автомобилей и выбросы тяжелой промышленности. Следовательно, проблема исходит от модели экономического роста, долгое время игнорирующей экологические издержки, усугубляя ситуацию.

Прямым следствием жизни в условиях постоянного смога являются тяжелые последствия для здоровья населения. По данным ВОЗ, среднегодовые уровни загрязнения воздуха в Дели и Пекине в 2-3 раза превышают допустимые пределы. В Дели, например, регулярно фиксируются показатели PM<sub>2.5</sub> в диапазоне 150-200 мкг/м<sup>3</sup> при рекомендованной ВОЗ норме в 5 мкг/м<sup>3</sup>. Эти микроскопические частицы способны проникать глубоко в легкие и кровоток, вызывая рост респираторных заболеваний (астма, бронхиты, рак легких), сердечно-сосудистых патологий, а также увеличивая риск инсультов и преждевременной смерти. Особую уязвимость демонстрируют дети, пожилые люди и лица с хроническими заболеваниями. Помимо прямого воздействия на человека, загрязнение наносит ущерб экосистемам, приводя к закислению почв и водоемов.

Таким образом, катастрофическое загрязнение воздуха в таких городах, как Дели и Пекин, требует безотлагательных и комплексных мер на государственном, муниципальном и общественном уровнях. Наиболее эффективными путями решения проблемы являются:

1. *Жесткий контроль выбросов:* Внедрение строгих экологических стандартов для транспорта (евро-5 и выше) и промышленности, переход на более чистые виды топлива.

2. *Развитие альтернативной энергетики и транспорта:* Активное инвестирование в солнечную и ветровую энергетику для замещения угля, массовое развитие сетей общественного транспорта, особенно электрического, и создание инфраструктуры для электромобилей.

3. *Программы озеленения:* Масштабное высаживание деревьев в городской черте, создание «зеленых щитов» для борьбы с пылью и поглощения CO<sub>2</sub>.

4. *Международное сотрудничество:* Обмен технологиями и лучшими практиками между странами для совместного противостояния трансграничному характеру загрязнения.

Без решительных и скоординированных изменений в экологической и промышленной политике будущие поколения жителей этих мегаполисов столкнутся с еще более тяжелыми и, возможно, необратимыми последствиями. Опыт Дели и Пекина служит суровым предупреждением для всего мира, демонстрируя острую необходимость перехода к модели устойчивого развития, в которой экономический прогресс не будет достигаться ценой разрушения окружающей среды и здоровья нации.

#### **Список литературы**

1. *Каница С.П. Синергетика и прогнозы будущего / С.П. Каница, С.П. Курдюмов, А.А. Малинецкий. – М.: Наука, 1997. – 285 с.*
2. <http://esa.un.org/unpp>.
3. *Volkov A.V. The studying of ethnology laws by cyclical dynamics methods / A.V. Volkov /Annals of annals/index.html.*
4. <https://naked-science.ru/article/top/top-samykh-zagryaznennykh>

## **ЗЕЛЁНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В СОВРЕМЕННОЙ АРХИТЕКТУРЕ**

Ю.Н. Кукина, Ю.Н. Пушилина  
Тульский государственный университет,  
г. Тула

***Аннотация.** Зелёные технологии в архитектуре становятся ключевым направлением развития современного градостроительства. В условиях растущей экологической проблематики и истощения природных ресурсов внедрение экологически чистых решений приобретает особую актуальность.*

Архитектура, начиная с древних времён, черпала вдохновение из природы. Формы, цвета и текстуры, встречающиеся в естественной среде, вдохновляют архитекторов на создание уникальных и красивых сооружений.

Зелёная архитектура представляет собой комплекс мер, направленных на повышение экологичности строительства и эксплуатации зданий. Основные принципы включают:

- Минимизация энергопотребления: использование энергоэффективных материалов и технологий позволяет значительно снизить затраты на отопление, охлаждение и освещение помещений.

- Рациональное использование воды: применение систем сбора дождевой воды и повторного использования сточных вод способствует экономии водных ресурсов.

- Использование возобновляемых источников энергии: солнечные панели, ветрогенераторы и геотермальные системы позволяют получать энергию из природы, уменьшая зависимость от традиционных энергоносителей.

- Создание благоприятной среды обитания: проектирование интерьеров и экстерьеров с учётом естественного освещения, вентиляции и озеленения улучшает качество жизни обитателей здания.

Одним из главных преимуществ является снижение затрат на электроэнергию и тепло. Современные теплоизоляционные материалы и энергосберегающие окна помогают сократить теплопотери, а солнечные батареи обеспечивают здание бесплатной энергией солнца.

Экологически чистые строительные материалы и системы фильтрации воздуха способствуют созданию здоровой атмосферы внутри помещения. Это особенно важно для жителей крупных городов, страдающих от загрязнения окружающей среды.

Природные компоненты в строительстве представлены: древесиной и древесными композитами, бамбуком и другими быстровозобновляемыми материалами, переработанными строительными отходами, экологичной керамикой натуральными утеплителями.

Инновационные архитектурные решения – зелёные крыши и фасады, вертикальное озеленение включает:

- создание живых стен: это вертикальное озеленение фасадов, которое выполняет несколько функций:

- улучшение микроклимата: растения поглощают солнечную энергию, снижая нагрев стен, и испаряют воду, охлаждая воздух;

- очищение воздуха: поглощение углекислого газа и вредных загрязнителей, выделение кислорода;

- шумоподавление: плотный растительный покров снижает уровень городского шума;

- повышение биоразнообразия: создание новых мест обитания для насекомых и птиц.

- обустройство зелёных крыш: улучшают теплоизоляцию, снижают шум и управляют стоком воды.

Интеграцию растений в архитектурные формы – растения могут стать частью архитектурного дизайна:

Архитектурные растения (например, кортадерия, мискантус) используются для создания акцентных композиций, маскировки неприглядных объектов, связывания пространства в единое целое.



Динамические стены – кинетические инсталляции, где растения или элементы фасада имитируют движение. Такие решения применяются в арт-объектах и общественных пространствах.

Внедрение зелёных технологий обеспечивает снижение эксплуатационных расходов: экономию на коммунальных платежах, повышение рыночной стоимости объектов, долгосрочные инвестиции в устойчивое развитие, сокращение затрат на энергопотребление.

Инновационные решения включают:

Использование энергии мха: моховые биореакторы представляют собой инновационную технологию, основанную на способности мха преобразовывать солнечную энергию. Особенности технологии: высокая эффективность даже при слабом освещении, возможность использования на вертикальных поверхностях, минимальные требования к обслуживанию, экологическая безопасность. Преимущества: снижение зависимости от традиционных источников энергии, уменьшение углеродного следа, возможность интеграции в фасады зданий, создание автономных энергосистем.

Прозрачные деревянные конструкции: прозрачная древесина – революционный материал, сочетающий прочность дерева с прозрачностью стекла. Технология производства: удаление лигнина из структуры дерева, импрегнация специальными полимерами, обработка для достижения прозрачности, сохранение природной прочности материала. Применение: остекление фасадов, светопрозрачные перегородки, элементы кровли, декоративные конструкции.

Биокомпозитные материалы: биокомпозиты – материалы нового поколения, созданные на основе природных компонентов. Основные виды: композиты на основе растительных волокон, материалы из переработанных биоотходов, минерально-органические композиты, биополимеры. Преимущества: экологическая безопасность, высокая прочность, устойчивость к воздействию окружающей среды, возможность биоразложения, системы естественной вентиляции, умные архитектурные решения.

Основные препятствия на пути развития: высокие начальные инвестиции, недостаточная нормативная база, сложность проектирования.

Зелёные технологии в архитектуре представляют собой не просто модный тренд, а необходимый шаг к устойчивому развитию городов. Их внедрение способствует: сохранению природных ресурсов, улучшению качества городской среды, созданию комфортной среды обитания, снижению углеродного следа, формированию экологически ответственного общества.

### **Список литературы**

1. Меренков А.В. *Зелёная архитектура. Формирование жилой среды: учебное пособие* / А.В. Меренков, Ю.С. Янковская. – 2-е изд., стер. – Санкт-Петербург: Лань, 2024. – С.74-79.

2. Павлова В.А., Кашицына А.А. *Зелёные технологии и природа внутри здания* // *Architecture and Modern Information Technologies*. – 2019. – №3(48). – С. 200-216.



3. Иванова Е.В. Перспективы использования зелёных технологий в строительстве и архитектуре / Е.В. Иванова, А.М. Петров // Научный журнал «Наука и мировоззрение» – 2025. – С.1-3.

4. Фролов О.Б. Использование природных материалов в архитектуре XXI века / О.Б. Фролов, Ю.П. Семёнова // Архитектурный вестник, 2023 г. – С.95.

5. Макаров Д.И. Современные методы оценки эколого-экономической эффективности зеленых зданий / Д.И. Макаров, Т.М. Серова // Экономика природопользования. – №2. – 2023 г. – С.78-82.

6. Калмыков К.С. Устойчивое строительство и энергоэффективность зданий / К.С. Калмыков, Н.Н. Грицко // Журнал строительных конструкций и материалов. – №3. – 2023 г. – С.45-46.

## ПРИМЕНЕНИЕ ЭКОЛОГИЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ ПРИРОДНОГО СЫРЬЯ

В.М. Прусская  
Тульский государственный университет,  
г. Тула

**Аннотация.** В статье рассмотрены современные тенденции разработки экологичных материалов из природного сырья – растительных, животных и вторичных ресурсов. Проанализированы биополимеры и биокмпозиты с точки зрения функциональных возможностей и методов производства. Отмечены последние достижения (2024–2025 гг.) в этой области, а также ограничения и перспективы широкого применения таких материалов.

**Ключевые слова:** биокмпозиты, устойчивое сырьё, природное сырьё, экологичные материалы.

Мировое производство пластика продолжает расти: традиционные нефтеосновные полимеры создают серьёзную экологическую нагрузку. В то же время возобновляемые природные ресурсы открывают путь к разработке более устойчивых материалов. Переход к биоосновным компонентам – критически важен для уменьшения углеродного следа и решения проблем загрязнения.

В последнее время значительно увеличился интерес к биополимерам и биокмпозитам, особенно тем, которые синтезируются из растительных полисахаридов, белков или отходов биомассы. Однако остаётся множество технических и экономических барьеров: от стоимости сырья до сложности переработки и конечных свойств материалов.

*Современные биополимеры и их сырьё.* Исследования показали, что полимеры из растений (целлюлоза, крахмал, лигнин) и микробного синтеза обладают потенциалом для экологичных применений. В это же время использование растительных и животных отходов для создания биоматериалов показали значительный прогресс, связанный с экологичностью, энергоэффективностью и возможностью повторного использования материалов. Биоконструкции же на основе целлюлозы и нанокристаллов (CNC)

демонстрируют улучшенные механические характеристики, а лигноцеллюлозная биомасса является одним из доступнейших возобновляемых ресурсов.

*Методы получения и модификации.* Для преобразования природного сырья в функциональные материалы используются разные подходы, такие как: химическая модификация – пластификация, окисление или взаимодействие с реагентами для улучшения свойств, биотехнологические способы – ферментация, микробное производство биополимеров, а также современные производственные технологии, такие как 3D-печать биокомпозитов.

*Применение и тренды.* В строительстве биокомпозиты используются в теплоизоляции и конструкционных элементах благодаря низкой теплопроводности и устойчивости к биodeградации. Появляются инновационные материалы, такие как укрепленные ледяные композиты: учёные описали «BioPykrete», соединяющий наноклетчатку и лед с белками для высокой прочности.

*Экономические и экологические аспекты.* Согласно последним экономическим оценкам, себестоимость «зелёных» биополимеров всё ещё выше традиционных пластмасс, что тормозит массовое внедрение. При этом прогноз рынка биоразлагаемых интеллектуальных материалов показывает значительный рост. Эксперты подчёркивают, что для устойчивости важно не просто делать разлагаемую упаковку, а строить циклическую экономику, где материалы многократно перерабатываются.

Анализ современных исследований показывает, что экологичные материалы продолжают активно развиваться и выходят за рамки лабораторных экспериментов, а биополимеры растительного и микробного происхождения, биокомпозиты с наноструктурами и инновационные материалы демонстрируют реальный потенциал для устойчивого применения. Тем не менее экономические и инфраструктурные барьеры остаются критичными – высокая себестоимость, отсутствие масштабной переработки, недостаток инфраструктуры для сбора и рециклинга биоосновных материалов. Поэтому дальнейшие исследования и инвестиции должны быть направлены не только на разработку новых материалов, но и на создание логистических систем и циклических производственных процессов.

### **Список литературы**

1. Парфиненкова М. Российские ученые создают материалы будущего / М. Парфиненкова. – Ведомости. Наука, апрель. – 2025.
2. Компания Иннер Инжиниринг «Альтернативы пластику: PLA, PHA, крахмал, бумага, стекло, съедобные материалы»: интернет-обзор, Inner.su. – 2025.

## ЭКОПОСЕЛЕНИЯ, СИМБИОТИЧЕСКИЕ КВАРТАЛЫ, ЭКОСИТИ

В.А. Зверева  
Тульский государственный университет,  
г. Тула

***Аннотация.** В статье рассматриваются такие социально-экологические единицы, как экопоселения, симбиотические кварталы, экосити. Рассмотрены положительные и отрицательные стороны данных видов поселений.*

**Экопоселения** – это поселение с едиными экологическими и/или духовными интересами, создает для себя экологически чистую среду обитания. Обязательные условия – минимизация вредного воздействия на природу, снижение экоследа.

Первые усилия по созданию были проведены в 1990-х годах. В 1994 году появилась деревня в Блэк-Маунтин в Северной Каролине. По данным на 2021 год в ней проживают 75 взрослых и 25 детей.

У разных поселений присутствуют свои экологические ограничения и самоограничения, позволяющие охранять природу, а также поддерживать свое здоровье. Наиболее известные принципы образования таких поселений:

- Устойчивое земледелие – способ ведения сельского хозяйства без использования ядохимикатов и пестицидов в области поселения;

- Устойчивое лесопользование и поликультурное лесовосстановление – бережное использование леса. Заключается в высаживании различных видов деревьев для создания жизнеспособной экосистемы, в отличие от монокультурной посадки – то есть высадка одной породы деревьев, что влечет за собой болезни и большое количество вредителей;

- Минимизация энергопотребления – строительство энергоэффективного жилья, использование солнечных панелей для выработки электричества, эффективное использование воды и электроэнергии;

- Поддержание здорового образа жизни. Жители экопоселений занимаются закаливанием, активными физическими нагрузками, посещением бани, а также придерживаются психологического равновесия и позитивного настроения на жизнь в целом;

- Обитатели данного поселения довольно часто придерживаются вегетарианства, веганства, сыроедения. В некоторых общинах запрещено употреблять мясо и разводить животных для использования в пищевых целях.

Экопоселение стремится к самообеспечению, в отдельных случаях в таких местах население может производить даже одежду, обувь, посуду, прочие необходимые товары и услуги для полноценного проживания народа. Для изготовления продукции часто используются местные материалы, а также производство не должно загрязнять атмосферу ни при изготовлении, ни при утилизации отходов.

**Симбиотическая архитектура** – направление, подразумевающее гармоничное взаимодействие архитектуры и градостроительства с природной средой.

Такая застройка включает в себя такие исследования как урбанистика, архитектурная теория, социология городского пространства и городской экономики.

Некоторые принципы симбиотической архитектуры:

- Гармония с природой. Одной из задач является гармоничное и грамотное включение построек в природный ландшафт с учетом климата, рельефа и экосистем. Минимизируется вырубка леса, рационализируется использование естественных ресурсов;

- Минимизация расходов при строительстве, использование экологически чистых материалов. Для экономии энергии применяются солнечные батареи, системы сбора дождевой воды и прочее.

Примерами внедрения симбиотической архитектуры являются проекты, в которых применены экологические принципы – дома с зелеными кровлями и фасадами. Это не только уменьшает теплопотери, но и служат средой обитания насекомых, птиц. Еще один фактор – общественные пространства с искусственными водоемами, садами и лесными массивами.

**Экосити** – современный город, находящийся в экологическом балансе с природой. Проявляется плотной застройкой, при этом экологическими зданиями с необходимыми инженерными сооружениями, органичной ландшафтно-архитектурной средой и решенными проблемами энергопотребления и транспорта.

Основной целью является снижение негативного воздействия на окружающую среду, эффективное использование ресурсов, а также улучшение качества жизни человечества.

При проектировании экосити необходимо:

- Сохранять и восстанавливать природные ресурсы в городах и регионах за счет высаживания молодых пород деревьев и кустарников;

- Создавать такую структуру города, которая сможет обеспечить комфортную среду для жизни без вреда природе;

- Внедрить разумное потребление энергии и природных богатств, использовать различные технологии для переработки отходов.

Таким образом, развитие экопоселений, симбиотической архитектуры и экосити необходимо для того, чтобы сохранять природу и ее ресурсы, для устойчивого сбалансированного развития городов и поселений, с целью улучшения качества жизни, формирование социальной ответственности населения, а также они содействуют борьбе с изменением климата, урбанизацией и роста населения в крупных городах. Формирование и расширение подобных общин поспособствует созданию гармоничного, устойчивого и комфортного будущего для всего человечества.

### Список литературы

1. Аналитический обзор экологических поселений России. Исследовательская группа ЦИРКОН, АНО «Социологическая мастерская Задорина», Москва, ул. Солянка, д.3.

2. Симбиотическая архитектура: как города выживают сами по себе. Ульфат Елькин Алескеров, г. Баку, Азербайджан.

3. Экоситология-учение об экологических городах. Тетиор Александр Никанорович, докт. техн. наук, профессор, РГАУ – МСХА им. К.А. Тимирязева, Москва.

## ОЗЕЛЕНЕНИЕ ЗДАНИЙ И УЛИЦ ГОРОДА

Д.А. Сухарева  
Тульский государственный университет,  
г. Тула

***Аннотация.** В настоящее время наблюдается ухудшение экологии, в связи с усиливающейся урбанизацией. Поэтому создание зеленых зон играет важнейшую роль в улучшении городской среды. В статье рассматриваются основные формы озеленения зданий и улиц, их экологические, социальные и экономические эффекты. Особое внимание уделено анализу современных технологий вертикального озеленения и создания садов на крышах.*

Стремительный рост городов влечет за собой увеличение плотности застройки, а следовательно, и уменьшение площади природных зон. Воздействия человека на окружающую среду растет, и экологическая обстановка для горожан ухудшается. Загрязненный воздух, усугубление эффекта теплового острова и недостаточное количество мест для отдыха становятся типичными проблемами крупных городов.

В сложившейся ситуации озеленение зданий и городских улиц приобретает исключительную важность, как элемент экологически ориентированного градостроительства. Растения выполняют не только декоративную функцию, но и играют существенную роль в создании благоприятного микроклимата, уменьшении шумового загрязнения и улучшении атмосферного воздуха.

В ходе подготовки статьи использовались общенаучные и специальные методы исследования, направленные на комплексное изучение проблемы озеленения городской среды. Методологическую базу составил обзор научных работ как российских, так и иностранных экспертов, занимающихся проблемами экологии города, устойчивого развития и зелёной инфраструктуры. С целью сопоставления разнообразных способов озеленения зданий и улиц, а также анализа их экологического и социального воздействия, был использован сравнительный метод.

*Озеленение улиц как элемент городской инфраструктуры.* Озеленение городских территорий – это в первую очередь высадка деревьев и кустарников, обустройство газонов, цветочных клумб и тенистых аллей. Посаженные вдоль дорог деревья, создавая своеобразный буфер, помогают уменьшить содержание пыли и опасных веществ за границами проезжей части, также формируют прохладу и снижают температуру дорожного покрытия. Кроме того, зеленые насаждения формируют визуальный комфорт и положительно влияют на психоэмоциональное состояние горожан.

Рациональное расположение элементов озеленения требует анализа климатических особенностей, плотности застройки и интенсивности движения

транспорта. В современных городских условиях широко используются виды растений, обладающие устойчивостью к загрязнению окружающей среды и дефициту влаги, что увеличивает срок службы уличного озеленения.

*Озеленение зданий: основные формы и технологии.* Озеленение зданий представляет собой перспективное направление развития городской зеленой инфраструктуры. Это предполагает создание вертикальных садов на стенах, организацию зеленых зон на крышах и террасах, а также применение растений в контейнерах на балконах и в общественных зонах.

Вертикальные зеленые комплексы также способствуют улучшению тепло- и звукоизоляции зданий, сокращая траты энергии на охлаждение. Сады на крышах оптимизируют водный баланс города и создают необычные зоны отдыха. Вместе с тем, реализация таких способов озеленения требует тщательного инженерного проектирования, учета нагрузок на конструкции и организации ухода за растениями.

*Экологические и социальные эффекты озеленения.* Преобразование городских пространств посредством зелёных насаждений оказывает различное влияние на городскую экосистему. С экологической точки зрения оно способствует снижению уровня загрязнения воздуха, уменьшению температуры в летний период и сохранению биоразнообразия. Социальные эффекты выражаются в повышении качества жизни населения, формировании комфортных общественных пространств и улучшении здоровья горожан.

Научные работы демонстрируют, что присутствие зелёных участков уменьшает тревожность и стимулирует активность горожан. Таким образом, озеленение играет важнейшую роль в развитии городской среды.

Озеленение зданий и улиц является необходимым условием развития современных городов. Оно позволяет смягчить негативные последствия урбанизации, улучшить экологические показатели и создать комфортную городскую среду. Эффективное развитие зеленой инфраструктуры требует комплексного подхода, включающего градостроительное планирование, применение современных технологий и участие органов власти. Внедрение системного озеленения способствует формированию экологически безопасных и привлекательных городов будущего.

### **Список литературы**

1. Васильев В.А. *Городская экология* / В.А. Васильев. – М.: Академия, 2020.
2. Кулагин А.А. *Озеленение и благоустройство городских территорий* / А.А. Кулагин. – СПб.: Лань, 2019.
3. Бобылев С.Н. *Экосистемные услуги и экономика устойчивого развития городов* / С.Н. Бобылев, В.М. Захаров. – М.: ВШЭ, 2018.
4. *Справочник по зеленому строительству* / Под ред. И.В. Ловцкой. – М.: АСВ, 2020.

# ПРОБЛЕМЫ СОВРЕМЕННОГО ТРАМВАЯ И ТРАМВАЙНОЙ СЕТИ В ГОРОДАХ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ КАК ЭКОЛОГИЧНОГО ВИДА ТРАНСПОРТА

М.А. Терин  
Тульский государственный университет,  
г. Тула

**Аннотация.** В статье представлен системный анализ состояния трамвайных сетей российских городов, сопоставление их ключевых показателей с международными практиками LRT (Light Rail Transit), идентификация основных технических, организационных и финансовых проблем и формулировка практико-ориентированных мер по их преодолению. Представлены прогнозируемые социально-экономические и экологические эффекты внедрения предложенной модели модернизации.

**Ключевые слова:** трамвай, лёгкорельсовый транспорт, LRT, инфраструктура, модернизация, устойчивое развитие, городской транспорт, Россия.

Трамвайно-рельсовый транспорт (ТРТ) сохраняет значимость в структуре городской мобильности благодаря сочетанию высокой пассажировместимости, относительной энергоэффективности и экологических преимуществ при условии электрического привода. В России функционируют десятки городских трамвайных систем, многие из которых сформировались в советский период и с тех пор подверглись лишь частичной модернизации. На фоне урбанизационных процессов и задач по сокращению выбросов парниковых газов, трамвай остаётся стратегически важным видом транспорта для средних и крупных городов.

Методологическая основа работы включает: обзор рецензируемой литературы по LRT и трамвайным системам; анализ официальной статистики (Минтранс, Росстат); обзор отраслевых аналитических отчётов и муниципальных кейсов; применение методов жизненного цикла (LCA) и экономико-математического анализа (СВА, LCC). При построении прогнозов использованы межнациональные сравнительные данные и адаптация их под российские реалии. Отметим ограничение: отсутствует единый централизованный реестр по некоторым операционным параметрам (средняя скорость, аварийность), поэтому для отдельных показателей использованы агрегированные отраслевые оценки и муниципальные данные.

Анализ доступной информации показывает следующие ключевые проблемы:

- Физический износ путей, контактной сети и подвижного состава;
- Значительный возраст парка вагонов: по отраслевым оценкам более половины трамваев старше 25 лет;
- Низкая доля низкопольных и доступных составов;
- Нехватка выделенных коридоров и конфликт с автотранспортом;
- Фрагментированность управления и дефицит долгосрочного финансирования;
- Ограниченная техническая интеграция (приоритет светофоров, диспетчеризация, мониторинг состояния).

Статистические ориентиры: суммарный пассажирооборот городского электрического транспорта по России в 2022 г. превышал несколько миллиардов пассажиро-километров; ежегодные программы обновления поставляют сотни единиц нового подвижного состава, однако темпы обновления ещё не компенсируют общий износ парка.

*Экологические преимущества.* Электрический привод обеспечивает снижение локальных выхлопов по сравнению с автобусами на ДВС; оценки LCA показывают сокращение CO<sub>2</sub> в диапазоне 20-35 % при эквивалентной пассажировместимости и зависимости от энергетического баланса региона. Кроме того, трамваи способствуют снижению шумового загрязнения и улучшению качества городской среды.

*Пропускная способность и операционная эффективность.* При выделенном полотне и корректной организации движения трамвай обеспечивает существенную пропускную способность (порядка 6-12 тыс. пассаж./ч в пиковый час на магистральных линиях), что делает его конкурентоспособным относительно автобусов на тех же коридорах.

*Социально-экономические эффекты.* Трамвайные коридоры часто становятся основой TOD (Transit-Oriented Development): повышается транспортная доступность, возрастает инвестиционная привлекательность прилегающих территорий и улучшается качество городской среды.

*Инфраструктурный износ.* Капитальное состояние рельсов, контактной сети и тяговых подстанций во многих муниципалитетах оставляет желать лучшего: наличие локальных участков с ограничениями скорости, повышенным шумом и аварийностью – частое явление. Это снижает среднюю коммерческую скорость и увеличивает эксплуатационные расходы.

*Финансирование и инвестиции.* Финансирование в большинстве случаев носит циклический, проектный характер. Отсутствие долгосрочного планирования и недостаточное плановое обновление активов приводят к накоплению технологического долга.

*Управление и институциональные барьеры.* Фрагментированность управления (муниципалитеты, МУП/ГУП, региональные операторы) осложняет проведение комплексных проектов модернизации, особенно когда требуется координация дорожных служб и департаментов градостроительства.

*Техническое отставание.* Недостаточное внедрение систем приоритета трамвая на перекрёстках, отсутствие повсеместной диспетчеризации и современных систем мониторинга состояния инфраструктуры снижают эффективность и безопасность движения.

*Международный опыт и применимость для РФ. Примеры успешной практики:*

- Франция (Страсбург, Лион): восстановление сети с интеграцией в городское планирование привело к значительному росту пассажиропотока и оживлению центральных кварталов.

- Германия (Tram-Train, Карлсруэ): интеграция трамвайных линий с пригородными железнодорожными путями расширила зону обслуживания и повысила привлекательность транспорта.



- Китай: масштабное развертывание LRT-линий и стандартизованные коридоры обеспечивают высокую среднюю скорость и частую эксплуатацию.

Ключевые принципы, переносимые на российский контекст: выделенные коридоры, современный низкопольный подвижной состав, интеграция тарифов и пересадок, долгосрочное финансирование и институциональная координация.

*Модель оптимальной модернизации для РФ.* Предлагаемая модель включает четыре блока:

1) Инфраструктурная модернизация – выделенные коридоры, капитальный ремонт путей, модернизация тяговых подстанций, применение бесшпальных плит в центрах.

2) Подвижной состав – переход на низкопольные многосекционные составы с рекуперацией энергии; стандартизация узлов обслуживания.

3) Институциональная реформа – создание региональных операторов, долгосрочные инвестиционные программы и механизмы ГЧП.

4) Технологическая модернизация – приоритет на перекрёстках, системы мониторинга состояния путей, цифровая диспетчеризация, интеграция с мультитарифными системами.

Пилотная фаза: реализовать в 3-5 городах (разные типы: миллионник, город 300–500 тыс., средний город) комплексную модернизацию отдельных магистралей и оценить эффекты в течение 3 лет. Такой подход позволит получить эмпирические данные для распространения практики.

*Оценка ожидаемых эффектов (ориентировочные количественные показатели) (Таблица).* Ориентировочные оценки основаны на синтезе международных данных и российских отраслевых оценок. Для строгой верификации рекомендованы пилотные измерения.

Таблица 1

Показатель	Базовое значение (среднее, РФ)	Ожидаемый результат после модернизации
Средняя скорость движения, км/ч	12–18 (типично для необособленных линий)	20–24
Пассажирооборот, млн пасс.-км (год)	4 727,5 (ГЭТ, 2022, Росстат/Минтранс)	+25–40 % на модернизированных коридорах
Доля устаревших вагонов	≈52 % старше 25 лет (отраслевые оценки)	<20 % при программе обновления
Поставки новых вагонов (2024)	214 единиц (официальные поставки, Минтранс)	500+ при наращении финансирования
Необходимый объём обновления парка	≈3 700 вагонов (отраслевой ориентир)	Полная замена к 2035 при финансировании
Экономия LCC (ориентировочно)	15–30 % (международные LCA/LCC)	15–25 % после оптимизации и масштабирования

*Примечание:* приведённые количественные оценки носят ориентировочный характер и требуют подтверждения детальной инвентаризации и пилотных измерений по каждому городу.

*Риски и ограничения исследования:*

- Недостаток детальной агрегированной статистики по всем городам (скорость, аварийность).

- Региональная неоднородность условий – переносимость результатов требует локальной адаптации.

- Экономическая уязвимость от колебаний финансирования и изменения энергетического баланса.

*Заключение и практические рекомендации.* Трамвай остаётся ключевым элементом устойчивой городской мобильности для средних и крупных российских городов.

*Практические рекомендации:*

1. Запустить пилотные проекты в 3-5 городах с полным циклом модернизации.

2. Разработать долгосрочные ЛСС-ориентированные инвестиционные планы (10–15 лет).

3. Внедрять приоритет трамвая на перекрёстках и цифровые системы мониторинга и управления.

4. Обеспечить стандартизацию требований к новым вагонам и инфраструктурным решениям.

Комплексная программа модернизации, объединяющая инфраструктурные вложения, обновление подвижного состава, институциональные реформы и внедрение цифровых технологий, способна значительно повысить эффективность и привлекательность трамвайных перевозок.

### **Список литературы**

1. Трещев В.Д., Овчинникова Е. А. (2023). *Analysis of the state of tram systems in Russia according to the results of 2022. Отраслевой обзор/статья.*

2. Минтранс РФ. *Сборники статистики: транспорт (2022-2023).*

3. RZD-Partner, Strategy Partners. *Отраслевые обзоры по состоянию городского электротранспорта (2022-2024).*

4. Sarmiento H. M. A. (2013). *Environmental sustainability of light rail transit in urban areas. Dissertation.*

5. Gulcimen S., et al. (2021). *Life cycle sustainability assessment of a light rail transit system. Integrated Environmental Assessment and Management.*

6. Grimaldi R., Laurino A., Beria P. (2010). *The choice between bus and light rail transit: a stylised cost-benefit analysis model.*

## **ПРОСТРАНСТВЕННОЕ РАЗНООБРАЗИЕ И ЭЛЕМЕНТЫ ЛАНДШАФТА**

Д.А. Усик

Тульский государственный университет,  
г. Тула

*Аннотация.* Статья посвящена вопросам изучения пространственного разнообразия и элементов ландшафта. Поднимаются вопросы гармонии и человеческого восприятия.

Наша планета – это не случайный набор объектов, а живой, дышащий организм, чья поверхность представляет собой сложнейшую «мозаику»,

пребывающую в состоянии хрупкого динамического равновесия. Мы наблюдаем, как лесные массивы естественным образом сменяются открытыми полями, а холмистые гряды плавно перетекают в бескрайние равнины, изрезанные руслами рек. Эта пестрота картины мира носит название пространственного разнообразия.

Чтобы осознать, зачем нам необходимо это понимание, обратимся к истории. На исходе XX столетия ландшафтная наука столкнулась с вызовами, порожденными стремительной деградацией природных систем, тотальным загрязнением среды, обеднением генофонда и утратой ландшафтной идентичности территорий. Это ознаменовало наступление нового, экологического этапа в развитии ландшафтоведения. На первый план вышли задачи инвентаризации, оценки и главное – сохранения ландшафтного разнообразия (ЛР) как фундаментальной основы для существования человеческой цивилизации и всех биосферных процессов. Именно ЛР служит той организующей материально-информационной матрицей, которая обуславливает и поддерживает всё биологическое разнообразие, выступая залогом устойчивого развития регионов.

Таким образом, постигая законы, по которым живет и развивается природа, мы получаем инструмент для её бережного преобразования в сторону улучшения и создания более благоприятной среды обитания. Давайте же глубже погрузимся в тему изменений ландшафта и поймём почему это вообще происходит.

Архитектура природного пространства складывается под влиянием трех ключевых групп факторов:

1. Зональные факторы. Их причина кроется в шарообразной форме нашей планеты и неравномерном распределении солнечной энергии. Это порождает закон широтной зональности – закономерную смену природных зон по мере движения от экватора к полюсам, от жарких пустынь к суровым тундрам.

2. Азональные факторы. Они действуют независимо от широты и обусловлены внутренней энергией Земли и особенностями земной коры. Сюда относят тектонические структуры, фундаментальные формы рельефа (например, контраст между горами и равнинами), а также состав горных пород. Ярким примером являются величественные горные системы, которые «нарушают» идеальную широтную зональность, выстраивая собственную, вертикальную последовательность поясов – от подножия к вершине.

3. Антропогенные: Деятельность человека стала мощной силой трансформации. Вырубка лесов, распашка земель, строительство городов радикально меняют природную структуру, создавая антропогенные ландшафты.

Но что движет людьми, когда они меняют облик нашей планеты? Ответ лежит в области глубинной психологии и чувственного восприятия: мы познаём мир не только зрением, а всем своим существом.

Чувство простора или тесноты – это непосредственный отклик нашей психики на безграничность степи или замкнутость лесной чащи.

Ощущение безопасности или уязвимости – это пробуждение древних инстинктов: с высоты холма мы, как древние дозорные, чувствуем себя хозяевами положения, а в теснине ущелья – потенциальной добычей.

Шум ветра в кронах деревьев и оглушающая тишина снежного поля – это звуковой ландшафт, который настраивает наше внутреннее состояние.

Каждый элемент ландшафта – это клавиша, на которой играет наша психика. Холм, ручей, роща, каменная гряда – все они складываются в бесконечно разнообразные симфонии ощущений.

Давайте разберем, как основные «кирпичики» природы влияют на наше внутреннее состояние.

Укрытие и Перспектива – роща даёт защищённость и тайну (в архитектуре – ниши, патио). Холм даёт обзор, контроль и свободу (в архитектуре – балконы, панорамные окна). Гармоничный ландшафт, как и хорошо спроектированное здание, всегда балансирует между этими двумя полюсами.

Путь и Преграда – тропа или ручей манят, будоражат любопытство, рождают предвкушение открытия. В городе эту роль выполняют извилистые улочки, арки и переходы. Утёс или стена обозначает границу, вызывая уважение. Преграды придают пути ценность и осмысленность, заставляя искать обходные пути.

Тайна и Опасность – густой лес манит и пугает неизвестностью. Пропасть – вызывает головокружение, выброс адреналина и обостренное, до кристальной ясности, чувство жизни. Архитекторы иногда используют этот эффект, создавая «парящие» конструкции и прозрачные полы, щекочущие нервы.

Современный город – это мощный, но зачастую дисгармоничный сборник ландшафтных ощущений.

Каньоны небоскрёбов вызывают стресс, как ущелье без выхода к простору. Однообразные спальные районы как бесконечная равнина, рождают апатию. Уютный сквер – удачный оазис, сочетающий «укрытие» и «источника жизни», дарующий желанное психологическое облегчение.

Осознавая эту глубокую связь, мы можем целенаправленно создавать среду, которая лечит, а не калечит. Больница должна быть расположена не на голой равнине, а в парке, где есть и укрытие, и перспектива, и умиротворяющий плеск воды. Школа обязана иметь не только открытые площадки для активности (перспектива), но и укромные уголки для уединения и размышлений (укрытие).

Офис остро нуждается в «островках» тишины и уюта, чтобы компенсировать стресс от постоянного нахождения в открытых пространствах.

Исходя из выше сказанного можно сделать вывод, что пространственное разнообразие – это палитра, с помощью которой природа «рисует» наши эмоции. Теряя связь с этим языком, мы превращаем города в машины для выживания. Наша душа инстинктивно ищет места, где гармонично сочетаются укрытие и простор, тайна и ясность – те условия, что веками обеспечивали нам выживание и умиротворение. Мы не просто смотрим на ландшафт – мы чувствуем его, потому что мы его часть.

### **Список литературы**

*1. Гафина Л.М. Проблемы правовой охраны ландшафтного разнообразия в Российской Федерации / Л.Ф. Гафина. – Димитровград: Центр ЮНИПресс, 2008.*

2. Пузаченко Ю.Г. Разнообразие ландшафта и методы его измерения / Ю.Г. Пузаченко, К.Н. Дьяконов, Г.М. Алещенко // География и мониторинг биоразнообразия. – М.: Изд-во НУМЦ, 2002.

3. Никитина Н.К. Георазнообразие и этические принципы его сохранения / Н.К. Никитина // Минеральные ресурсы России. Экономика и управление. – 2012. – №2.

4. Иванов А.Н. Ландшафтное разнообразие и методы его измерения / А.Н. Иванов, Ю.В. Крушина // Ландшафтоведение: теория, методы, региональные исследования, практика: Материалы XI Международной ландшафтной конференции. – М.: Географический факультет МГУ, 2006.

5. Николаев В.А. Контрастность ландшафтной структуры и некоторые аспекты ее изучения / В.А. Николаев, Л.И. Ивашутина, // Вестн. Моск. ун-та. Сер. геогр. – 1971. – № 5.

6. Мэгарран Э. Экологическое разнообразие и его измерение / Э. Мэгарран. – М.: Мир, 1992.

## **ВОДНАЯ СИСТЕМА СОВРЕМЕННОГО ГОРОДА. МАЛЫЕ РЕКИ КАК СОСТАВЛЯЮЩАЯ ЧАСТЬ ПРИРОДНО – ЭКОЛОГИЧЕСКОГО КАРКАСА. МЕТОДЫ ОЧИСТКИ ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ**

Е.В. Чигрина

Тульский государственный университет,  
г. Тула

***Аннотация.** В статье рассматривается водная система современного города. малые реки как составляющая часть природно – экологического каркаса, а также методы очистки водных объектов*

Экологическая основа города – это союз водного и зеленого каркаса. Однако именно водная часть этого союза в наибольшей степени подвержена негативному воздействию в период урбанизации.

Водная система современного города – это комплекс, который включает в себя: водные объекты (реки, озера, водохранилища, скважины, родники), выполняющие роль водоснабжения для производств, бытовых нужд и питья, установки для очистки, сбора и хранения чистой воды, инструменты водоотведения (канализационные сети, насосные станции перекачки), помогающие сохранять чистоту водных объектов.

Существенную роль в данном комплексе имеют «малые» реки, берега которых являются средой обитания значительной части населения, удовлетворяя хозяйственные потребности. Нельзя конкретно сказать о понятии «малая» река, но есть различные подходы к его определению. К этому понятию можно отнести небольшие по размерам водотоки, отходящие от бассейнов крупных рек, покрывающие почти всю территорию нашей страны. Важно отметить, что

водосбор таких водотоков находится в одной географической зоне, а его площадь не превышает 2 тыс. км<sup>2</sup>, длина – 100 км.

Малые реки сейчас сталкиваются с рядом проблем: обмеление, связанное с осушением болот и заиливанием территорий, загрязнение из-за органических, минеральных и бактериальных веществ. Малые реки зачастую выполняют функцию приемников сточных вод и загрязненного поверхностного стока с промышленных производств, нередко использующих неэкологичные технологии. Далее этот сток переносится в бассейны крупных рек и несет необратимые последствия. Кроме этого, стоит учитывать слабое соблюдение режима зон санитарной охраны, например, различная строительная деятельность в пределах водоохранных зон, или неразвитые берега рек, находящиеся вблизи городских поселений, накапливающие бытовые отходы. Эти обстоятельства способствуют ухудшению состояния речных русел с каждым годом в современном мире, а также делают возможность восстановления реки в первоначальном виде, неосуществимой.

Урбанизация способствовала появлению крупномасштабных гидротехнических сооружений на больших реках, а контроль за состоянием малых рек прекратился на десятилетия. Технический прогресс облегчил жизнь, но вместе с тем привел водную среду в запустение, многие объекты этой среды перестали быть пригодными в качестве источника питья и места отдыха. Обмеление территории рек ухудшит не только качество жизни, но и экономику в целом, так как перемещение грузов по рекам будет невозможным. Поэтому задача сохранения и очистки водных объектов, в том числе и малых рек, является решающей для нашего будущего.

Современные технологии очистки водных экосистем включают в себя и механические, и химические, и биологические методы, а их комплекс способствует достижению лучшего результата. Выбор метода очистки определяется в зависимости от природы элемента, содержащегося в воде.

Механический способ очистки предполагает удаление нерастворимых примесей, которые являются как природными отходами, так и мусором, выбрасываемым человеком. Также к данному виду загрязнителей относятся и донные отложения. Этот метод является наиболее бюджетным среди остальных и осуществляется путем процеживания, отстаивания, центрифугирования и фильтрации воды в несколько этапов. Нередко для удаления крупных отходов используют сачки, сети и специализированное оборудование. Такой вид очистки позволяет удалить 60 % мусора и уменьшить его размер для дальнейшей обработки другими способами.

Химический метод позволяет выделить из вод нефтепродукты, промышленные сбросы, сельскохозяйственные стоки с удобрениями и гербицидами. Такой вид отходов в сравнении с механическим не имеет больших размеров, и остается незаметным на поверхности воды, при малых количествах, однако более серьезно влияет на водную флору и фауну, и способен оставаться на протяжении долгого времени в воде и донных отложениях. Химические подходы к очистке воды – это использование таких веществ, как альгициды, сорбенты, коагулянты и флокулянты, которые помогают ускорить осаживание

вредных частиц, подавить рост водорослей и ослабить действие вредных веществ, тем самым нейтрализуя их действие.

Биологические методы очистки – это прежде всего воздействие живых организмов, основаны на естественных механизмах самоочищения водоема и, в сравнении с другими способами требуют большего времени. В этом методе заселяют биологически активные бактерии, расщепляющие органику, травоядные виды рыб, которые контролируют рост растительности, и высаживают растения, поглощающие азот, фосфаты и тяжелые металлы.

Таким образом, восстановление водных объектов, являющихся частью экологического каркаса природных территорий, это обязательная задача, для сохранения и создания качественной среды обитания. Этот процесс должен развиваться поэтапно, систематично и постоянно, потому что только тогда получится сохранить естественную природную среду, помогающую человеку на протяжении всей жизни и во всех сферах деятельности.

### **Список литературы**

1. Власов В.А. Эколого-мелиоративные подходы к восстановлению малых водных объектов в условиях городской застройки / В.А. Власов, В.И. Сметанин // Журнал «Природообустройство». – №2. – 2009. – С. 1-5.
2. Родионов В.Б. Реальные пути решения проблем малых рек России / В.Б. Родионов, В.Н. Безносков, В.В. Волишаник, А.Л. Суздалева // Наука Москвы и регионов. Инновации, разработки, производство. – 2004. – №3. – С. 56-61.
3. Курочкина В.А. Концепция и основные мероприятия по геоэкологической реабилитации малых рек и прилегающих территорий городов / В.А. Курочкина, И.А. Сметанин // Вестник евразийской науки. – 2022. – Т. 14 – № 6 – URL: <https://esj.today/PDF/89NZVN622.pdf>
4. Новикова А.Е. Современные методы очистки воды / А.Е. Новикова, К.С. Руина // Вестник науки №1 (34) том 5. – С. 146-149. – 2021 г. ISSN 2712-8849 // Электронный ресурс: <https://www.вестник-науки.pф/article/4105> (дата обращения: 19.10.2025 г.).

# ЭКОЛОГИЯ И РАЦИОНАЛЬНОЕ ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЕ

## ОСНОВАНИЯ ПРИМЕНЕНИЯ МЕТОДОЛОГИИ ГЕОХИМИЧЕСКИХ ПОИСКОВ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ЗАДАЧ

К.А. Ирбулатов, И.А. Ерёмчев, А.В. Волков  
Тульский государственный университет,  
г. Тула

***Аннотация.** В первой четверти XXI века методология геохимических поисков, дополненная современными аналитическими и статистическими методами, превращается из специализированного инструмента поисков и разведки месторождений сырья в универсальный метод экологической диагностики. Она позволяет перейти от формальной констатации превышений ПДК к оценке, анализу и прогнозу механизмов формирования и распространения техногенных загрязнений. Геохимический инструментарий служит эмпирической базой принятия решений по управлению экологическими рисками и обеспечению устойчивого регионального развития.*

В современном мире окружающая среда подвергается всё более интенсивному техногенному давлению. Горнодобывающая промышленность, энергетика, металлургия, нефтегазовый сектор, сельское хозяйство оставляют на ландшафтах неизгладимый химический след. В этих условиях специалисты обсуждают необходимость не просто фиксировать превышения нормативов воздействий на среду, а понимать природу загрязнения: источники его возникновения, механизмы распространения, уровни экологических рисков. Эффективный инструмент для решения этих задач был разработан задолго до появления самой экологической науки; речь идёт о методологии геохимических поисков, изначально ориентированных на поиск и разведку месторождений полезных ископаемых. Её адаптация к экологическим задачам открывает новые горизонты для диагностики, мониторинга и прогнозирования состояния природных территорий [1, 2].

В частности, ядром классической геохимии рудных месторождений является понятие *геохимической аномалии* – участка, где концентрация одного или нескольких химических элементов достоверно превышает региональный фон. Такая аномалия рассматривается как «геохимический ореол» скрытого рудного тела, образовавшийся в результате миграции элементов из источника (руды) в окружающие породы. Форма, размер, интенсивность и элементный состав аномалии позволяют специалистам не только обнаруживать объект, но и оценивать его тип, глубину залегания, потенциальную промышленную ценность [1].

В экологическом контексте, логика анализ природных ситуаций остаётся той же, но интерпретация базовых понятий и результатов исследований меняется. Теперь аномалия – это не комплексная характеристика состояния недр, а следствие, «отпечаток» антропогенного воздействия. Речь может идти об ореоле рассеяния от промышленного предприятия, утечки из хранилища отходов, о зоне влияния



несанкционированной свалки либо об историческом загрязнении, оставшемся от уже ликвидированных производств [3]. Ключевое преимущество геохимического подхода заключается в том, что он позволяет выявлять источники загрязнения даже тогда, когда абсолютные концентрации формально не превышают предельно допустимых (ПДК). Пространственное распределение элементов сохраняет чёткую сигнатуру источника, и именно эта «карта следов» даёт гораздо больше информации, чем однократный химический анализ.

Корректное применение методологии геохимических поисков невозможно без адекватного определения фоновое содержания элемента. В отличие от санитарных норм, которые носят усреднённый характер, геохимический фон должен быть локальным и отражать естественные особенности конкретной территории. Его определяют на основании анализа проб, отобранных в удалённых, незагрязнённых районах с аналогичными геолого-геоморфологическими и почвенно-климатическими условиями [2].

Важнейшим статистическим аспектом является выбор закона распределения [1, 4]. Во многих природных системах, геохимическая специфика которых обусловлена выраженным миграционным процессом или их комплексом, содержание химических элементов подчиняется логарифмически нормальному закону. Это связано с мультипликативным характером процессов переноса и накопления веществ, например, с последовательным осаждением и сорбцией в почвенных горизонтах. В подобных условиях использование среднего арифметического изучаемой выборки геохимических показателей может вести к завышенным оценкам фона. Поэтому применяют оценки медианы выборки ( $Me$ ) и стандартного отклонения ( $\sigma$ ), рассчитанные по логарифмированным данным. Аномалия считается достоверной, если её значения выходят за пределы диапазона  $Me \pm 2\sigma$  или  $Me \pm 3\sigma$ .

На основе этих данных определяют интегральные показатели состояния среды, такие как коэффициент (кларк) концентрации элемента ( $KK = C_{\text{пробы}} / \text{Кларк}$ ) и, что особенно важно для экологии, суммарный показатель загрязнения ( $Z_c$ ).  $Z_c$  представляет собой аддитивную сумму отношений содержания каждого элемента к его фоновому или значению ПДК. Этот показатель позволяет комплексно оценить степень техногенной нагрузки и сопоставить между собой разные территории [4].

Методология геохимических поисков предполагает строгую системность полевых работ [5]. На начальном этапе в пределах изучаемой территории формируется регулярная или полурегулярная сеть пунктов наблюдения. Объектами отбора проб служат почвы – чаще всего, верхний 0-20 см горизонт, донные отложения, растительность и вода.

Однако, современные варианты методологии геохимических поисков выходят за рамки определения валового (общего) содержания элементов. Важным показателем состояния среды признаётся фракционный анализ проб, получаемый в результате разделения общего содержания элемента на компоненты, различающиеся степенью подвижности в среде и уровнями биодоступности. В частности, методом последовательной экстракции выделяют следующие экологически значимые формы нахождения изучаемого элемента [5]:

- водорастворимую фракцию (часто наиболее токсичную и мобильную);

- обменную (легко извлекаемую, доступную для растений);
- кислотно-растворимую (связанную с карбонатами);
- органически связанную;
- остаточную (в решётке силикатов).

Именно подвижные фракции определяют реальный экологический риск, в то время как остаточная форма практически инертна. Такой подход позволяет не просто констатировать наличие загрязнителя, а оценивать его потенциальную опасность.

Начиная с 1970-х годов, дополнительным инструментом интегральной оценки состояния окружающей среды признаётся *биоиндикация*. Некоторые растения, называемые гипераккумуляторы, способны концентрировать в своих тканях тяжёлые металлы в концентрациях, превышающих фон в десятки и сотни раз [2, 3]. Анализ химического состава подобных организмов позволяет определять скрытые очаги загрязнения задолго до их обнаружения в почве традиционными методами, что особенно ценно для мониторинга.

Одним из ключевых понятий промышленной экологии, заимствованным из теории рудообразования, является геохимический барьер – область земной коры, где резко изменяются физико-химические условия ( $pH$ ,  $Eh$ , состав подземных вод), что приводит к снижению интенсивности миграции и концентрированию элементов и веществ. В экологии этот принцип позволяет объяснить, почему загрязнители распространяются локально, то есть накапливаются в определённых горизонтах почв, грунтов и горных пород.

Особое значение имеет т. н. сорбционный барьер, формирующийся на границе почвенных горизонтов, богатых глинистыми минералами и гумусом; эти компоненты обладают способностью связывать ионы тяжёлых металлов. В условиях промышленных зон, сбросы кислых вод могут ослабить этот барьер, превратив почву из фильтра в проводник загрязнения к грунтовым водам [2, 3].

В практике промышленной экологии для оценки миграционной активности элементов широко применяется коэффициент водной миграции ( $K_{\text{вм}}$ , по А.И. Перельману). Он рассчитывается как отношение концентрации элемента в воде к его содержанию в породе. Низкие значения  $K_{\text{вм}}$  указывают на стабильность элемента в данной геохимической системе, высокие – на тенденцию его выноса из системы подземными водами. Это позволяет моделировать пути распространения промышленных загрязнителей, разрабатывать эффективные инженерные решения для их локализации.

Итак, применение геохимических методов оправдано на всех этапах экологического сопровождения деятельности по проектированию и реализации хозяйственных проектов. Преимущества геохимических методов специалисты связывают со следующими результатами [1].

1. Выявление и локализация источников. По характеру и составу аномалии можно судить о типе источника. Например, полиэлементная аномалия по Pb, Zn, As часто указывает на горнодобывающую деятельность; аномалия по Hg – на химическое производство или угольную энергетику; повышенные концентрации Cr и Ni – на работу металлургических комбинатов. Эти закономерности позволяют

перейти от выявления экологического неблагополучия территорий к купированию экологических последствий загрязнения.

2. Оценка миграции и рисков. Построение карт изоконцентрат выступает эмпирической основой идентификации направления и скорости переноса загрязнителей. Это особенно важно при изучении состояния подземных вод, где прямые наблюдения затруднены. Анализ фракционного состава и коэффициентов миграции даёт количественную оценку риска вторичного загрязнения.

3. Мониторинг и рекультивация. После проведения рекультивационных мероприятий, геохимическая съёмка является объективным инструментом контроля качества выполненных работ. Она позволяет отслеживать динамику снижения концентраций подвижных фракций элементов, темпов восстановления естественного геохимического фона, что служит основанием для принятия управляющих решений.

Таким образом, в первой четверти XXI века классическая методология геохимических поисков, дополненная современными аналитическими и статистическими методами, превращается из узкоспециализированного инструмента геолога-поисковика в универсальный метод экологической диагностики. Она позволяет перейти от формальной констатации превышений ПДК к оценке, анализу и прогнозу механизмов формирования и распространения техногенных ореолов. В итоге, геохимия становится не просто наукой о миграционных процессах в недрах Земли, а ключом к познанию «химического языка» Земли, на котором планета информирует человека о своём состоянии под воздействием антропогенной деятельности. Это знание и инструментарий выступают теоретическим и эмпирическим фундаментом принятия обоснованных решений по управлению экологическими рисками и обеспечению устойчивого регионального развития.

### Список литературы

1. Воробейчик Е.Л. Экологическое нормирование техногенных загрязнений наземных экосистем (локальный уровень) / Е.Л. Воробейчик, О.Ф. Садыков, М.Г. Фарафонов. – Российская Академия наук, Уральское отделение, Институт экологии растений и животных, концерн «Промэкология». – Екатеринбург: УИФ «Наука», 1994. – 280 с. – EDN QZAOCH.

2. Экологические проблемы северных регионов и пути их решения. Материалы VIII Всероссийской научной конференции с международным участием, посвященной 300-летию Российской Академии наук и 35-летию Института проблем промышленной экологии Севера КНЦ РАН / отв. ред. Д.В. Макаров. – Апатиты: Изд-во ФИЦ КНЦ РАН, 2024. – 293 с.

3. XIII Международная научно-техническая конференция «Инновационные геотехнологии при разработке рудных и нерудных месторождений» (Уральская горнопромышленная декада, г. Екатеринбург, 1-10 апреля 2024 г.): сборник докладов / отв. за выпуск Н.Г. Валиев. – Екатеринбург: Изд-во УГТУ, 2024. – 280 с.

4. Биогеохимия химических элементов и соединений в природных средах: материалы III Международной школы-семинара молодых исследователей

(г. Тюмень, 23-28 апреля 2018 г.) / под ред. В.А. Боева, А.И. Сысо, В. Ю. Хорошавина. – Тюмень: Изд-во Тюменского государственного университета, 2018. – 452 с.

5. Тунакова Ю.А. Методология нормирования приоритетных загрязняющих веществ в компонентах урбоэкосистемы / Ю.А. Тунакова, С.В. Новикова, В.С. Валиев, Р.А. Шагидуллина. – Казань: Отечество, 2014. – 160 с. – EDN VIIERX.

## **ОТРАЖЕНИЕ ВАРИАЦИЙ ПОКАЗАТЕЛЯ pH ПОЙМЕННЫХ УЧАСТКОВ ВОДОТОКОВ ГОРНОДОБЫВАЮЩИХ РЕГИОНОВ В МЕХАНИЗМАХ РЕАГИРОВАНИЯ РАСТИТЕЛЬНОЙ БИОТЫ**

И.А. Ерёмчев, К.А. Ирбулатов, А.В. Волков  
Тулский государственный университет,  
г. Тула

***Аннотация.** С учётом геологических особенностей месторождений, где происходит добыча россыпного золота, рассмотрены геохимические механизмы формирования «мёртвых зоны», то есть участков, формирующихся в результате разложения пирита при его контакте с водой. На данных участках растительность либо отсутствует полностью, либо присутствуют единичные, наиболее более устойчивые виды.*

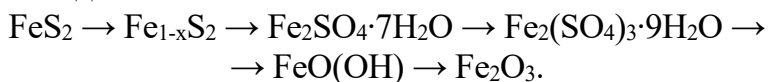
Одним из основных минералов-спутников золота является сульфит железа – пирит ( $\text{FeS}_2$ ), который, помимо того, что указывает на наличие золота, используется для производства серной кислоты. При залегании минерала на поверхности – в пойменных отложениях водотоков, происходит его окисление, в результате которого формируются оксиды и гидроксиды железа, такие как гематит и гётит, а также серная кислота.

В естественных условиях процесс не получает широкого распространения, в силу малого поступления пирита в результате его выветривания. Но, в ходе добычи золота, в водотоки поступает большое количество пирита, что сказывается на динамике процессов окисления, а, следовательно, и на количестве продуктов его разложения; формируются т. н. «мёртвые зоны» [1].

«Мёртвые зоны» представляют собой области, в которых геологические отложения (грунты) сцементированы оксидами железа, а в воде присутствуют соединения серной кислоты. Протяженность областей варьирует, в зависимости от количества разлагаемого материала. Образуются «мёртвые зоны» преимущественно в пойменных отложениях поверхностных водотоков.

Наличие в воде серной кислоты существенно снижает  $pH$  почв и грунтов, что негативно сказывается на продуктивности растительной биоты. Кроме того, низкий уровень  $pH$  обеспечивает активное растворение железа, что ещё более лимитирует жизнедеятельность растений.

Формирование «мёртвых зон» сопряжено с процессами трансформации минерала пирит – сульфита железа. При его контакте с водой образуются минералы оксиды и гидроксиды железа по схеме



Именно эти соединения цементируют грунты в границах «мёртвых зон». Их протяжённость варьирует, в зависимости от количества разлагаемого материала и источников его поступления. Например, протяженность «мёртвой зоны» на участке «Хлебопёк» (Бодайбинского район Иркутской области) меняется в пределах 800-1200 м; ширина же зависит от строения поймы водотока. На примере участка «Хлебопёк», она составляет 100-250 м [1].

Поступление пирита происходит в ходе процессов выветривания, которые разрушают породу и высвобождают не подверженный (минимально подверженный) процессам окисления минерал. Поэтому одним из ключевых факторов формирования «мёртвых зон» является *рельеф*. Пологий рельеф замедляет скорость водотока, а, следовательно, увеличивает концентрацию соединений Fe и S, что приводит к активному их воздействию на породы.

Как было отмечено, формирование «мёртвых зон» обусловлено процессами окисления пирита, в результате которого, помимо оксидов железа, формируется серная кислота ( $H_2SO_4$ ).

В небольших количествах серная кислота может положительно влиять на растения, подкисляя грунт и разрыхляя его, что увеличивает приток кислорода; сказывается на формах нахождения и интенсивности миграции химических элементов. Но, в случае с «мёртвыми зонами», содержание кислоты достаточно высокое, что снижает величину показателя *pH* до 4,5 единиц, существенно ограничивает биопродуктивность растительной биоты, снижает видовое разнообразие участков.

Помимо влияния *pH* на кислотность почв, фактор влияет на растворимость и доступность макро- и микроэлементов, таких как фосфор, кальций, калий, магний, которые становятся менее доступными для поглощения [2-4].

*Фосфор (P)*. При низком *pH*, фосфор сильно связывается с ионами алюминия и железа, образуя нерастворимые соединения и становясь недоступным для растений. Это приводит к дефициту фосфора, что критично для развития корней.

*Кальций (Ca) и Магний (Mg)*. Эти основные катионы вымываются из почвы при низком *pH*. Дефицит кальция особенно губителен для структуры клеточных стенок и роста корней.

*Железо, марганец, алюминий и бор*, в свою очередь, становятся более растворимыми и, в больших концентрациях, негативно влияют на растения. В случае с «мёртвыми зонами», наибольшей концентрацией обладает железо.

Избыток железа, особенно в форме  $Fe^{2+}$  (которая содержится в  $FeSO_4$ ), может быть токсичен для растений и негативно влиять на корневую систему. Высокие концентрации железа в почве или питательном растворе могут привести к повреждению клеток корня, нарушению целостности клеточных мембран. Это проявляется в потемнении, укорочении и некрозе корневых кончиков. Избыток  $Fe^{2+}$  может катализировать образование реактивных форм кислорода (свободных радикалов), которые вызывают окислительный стресс, повреждая ДНК, белки и липиды в корневых клетках. Высокие уровни железа препятствуют поглощению других важных микроэлементов, таких как фосфор, марганец, цинк и медь, приводя к их дефициту, несмотря на их наличие в почве. В

частности, железо формирует нерастворимые соединения с фосфатами, делая фосфор недоступным для растений. Поврежденные избытком железа корни не могут эффективно поглощать воду, что приводит к увяданию растений, даже при достаточной влажности почвы.

Резкое и существенное закисление почвы негативно отражается на жизнедеятельности многих полезных почвенных микроорганизмов – бактерий и грибов, которые участвуют в разложении органического вещества, фиксации азота и круговороте питательных веществ. Это ухудшает структуру почвы и снижает её плодородие [2-4].

Итак, результаты выполненных исследования свидетельствуют, что процессы, в результате которых возникают «мёртвые зоны», негативно влияют на растительную биоту посредством изменения кислотности почв. На данный момент, ограничить или контролировать этот процесс не представляется возможным. Главная проблема заключается в том, что в регионах, где формируются геохимические аномалии, нельзя остановить добычу минерального сырья. В ходе добычи происходит высвобождение не окисленного пирита что ведёт к его разложению и, следовательно, к увеличению площади «мёртвых зон».

### **Список литературы**

1. Кузнецов Ю.А., Грибанов В.П., Варфоломеев С.Д., Калиниченко В.Н., Мальцев А.А., Рождествина В.И., Наумов В.А., Дубков А.А., Жабин А.В. Модель образования россыпей золота Бодайбинского района Иркутской области (на примере Месторождения «Хлебопёк». – М., 2024. – С. 4-11.
2. Макаров М.И., Недбаев Н.П. Влияние кислотных осадков на подвижность органического вещества в лесных почвах // Почвоведение, 1994. – № 8. – С. 111-118.
3. Середина В.П. Калий в автоморфных почвах на лессовидных суглинках. – Томск: Изд-во Томского государственного университета, 1984. – 216 с.
4. Терехин В.Г., Иванова С.Е., Соколова Т.А. Изменение некоторых свойств иллювиально-железистых подзолов под влиянием обработки водой и кислотой // Почвоведение, 1995. – № 11. – С. 1317-1325.

## **РАЗРАБОТКА ПРИРОДООХРАННЫХ МЕРОПРИЯТИЙ НА ПРЕДПРИЯТИИ, ГДЕ ПРИМЕНЯЮТСЯ РИЧТРАКИ**

Л.В. Пахомова, В.А. Речкалова, А.Е. Белякова  
ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет водного транспорта»,  
г. Новосибирск

**Аннотация.** Охрана окружающей среды – ключевая задача для современного предприятия. Производственные процессы, особенно с использованием машин и сложных комплексов, часто оказывают негативное воздействие на природу. Для минимизации этого воздействия и обеспечения устойчивого развития внедряются специальные природоохранные мероприятия.

***Ключевые слова:** природоохранные мероприятия, ричтрак, экологическая безопасность, негативное воздействие на окружающую среду, складская логистика.*

Эксплуатация высокопроизводительной техники сопряжена с комплексным негативным воздействием на окружающую среду, включая выбросы загрязняющих веществ в атмосферу, потребление энергоресурсов и образование отходов. В условиях ужесточения экологического законодательства и роста требований к устойчивому развитию разработка эффективных природоохранных мероприятий становится стратегической необходимостью [1, 2].

Природоохранные мероприятия – это система мер, направленных на сохранение и восстановление природных ресурсов и окружающей среды, гармонизацию отношений между человеком и биосферой, поддержание естественного хода процессов в биосфере, сохранение генетического разнообразия (генофонда) живых организмов, а также экологически обоснованное использование как отдельных видов животных и растений, так и экосистем в целом.

В соответствии с Федеральным законом «Об охране окружающей среды» разработка и реализация мероприятий по охране окружающей среды являются одними из обязательных требований, без выполнения которых невозможна деятельность предприятия.

Классификация природоохранных мероприятий на производственном предприятии может проводиться по различным основаниям. По характеру осуществления они подразделяются на:

- Превентивные. Включают регулярные профилактические мероприятия, такие как осмотр производственного оборудования и контроль качества сырья;
- Базовые (прямые). К прямым экологическим мероприятиям относят текущую оценку состояния экосистем, экологическую экспертизу, паспортизацию всех выбросов и отходов предприятия, проведение научных исследований и формирование на их основе информационных баз, а также работу с персоналом и населением на данной территории.

Также природоохранные мероприятия можно классифицировать в зависимости от компонента природной среды, на защиту которого они направлены:

- По охране атмосферного воздуха – установка фильтров на системы выбросов предприятия, монтаж на автотранспорт устройств для нейтрализации выхлопных газов, использование газового топлива и другие меры;
- По охране почв – мероприятия по рекультивации земель, экономное использование земельного фонда при строительстве, снятие слоя плодородных почв перед нарушением земель сельскохозяйственного назначения;
- По охране водных ресурсов – строительство, расширение и реконструкция очистных сооружений, создание оборотных систем водоснабжения,

осуществление контроля за водопользованием, разделение промышленных, хозяйственно-бытовых и ливневых стоков, сооружение установок для сбора, транспортировки, переработки и утилизации жидких производственных отходов, улучшение технического состояния водоемов.

Ричтрак – это подъемно-транспортная машина для подъема и перемещения грузов на высоту. Она используется на складах и в производстве для работы с высокостеллажными хранилищами и габаритными грузами. Ричтраки обладают высокой грузоподъемностью и могут перемещать грузы на высоту до 14 метров.

На предприятиях, где применяются ричтраки, должны проводиться различные природоохранные мероприятия, направленные на минимизацию негативного воздействия деятельности на природу и здоровье населения. Перечень мероприятий индивидуален и зависит от особенностей эксплуатации ричтраков, состояния их узлов и многих других факторов [3].

Для снижения вредного воздействия ричтраков на окружающую среду предлагается внедрить на предприятии следующий ряд природоохранных мероприятий.

#### 1. Мероприятия по снижению воздействия на атмосферный воздух.

Зачастую в приводах ричтраков установлен дизельный двигатель, который является источником выброса загрязняющих веществ в атмосферу. Для снижения этого воздействия эффективен переход на двигатели с более высоким экологическим классом, а в идеале – на электропривод, который полностью исключает локальные выбросы. К базовым мерам относятся: использование в закрытых помещениях систем приточно-вытяжной вентиляции с фильтрами, а на технике, работающей на открытых площадках, – установка каталитических нейтрализаторов.

#### 2. Мероприятия по защите водных ресурсов и почв.

Основной риск – разлив горюче-смазочных материалов (ГСМ). Необходимо оборудовать зоны заправки и технического обслуживания поддонами и сорбентами; хранить тару с ГСМ на непроницаемых покрытиях; проводить регулярный инспекционный контроль на предмет утечек из гидравлической системы.

#### 3. Мероприятия по снижению шумового воздействия и энергопотребления.

Для электроприводных ричтраков источником косвенного воздействия на окружающую среду является потребление электроэнергии. Мерой снижения является внедрение энергоэффективных моделей и технологий рекуперативного торможения.

Особое внимание уделяется обучению операторов ричтраков, так как от их квалификации напрямую зависят как безопасность, так и экологичность эксплуатации (экономный режим вождения, своевременное сообщение о неисправностях).

Для обеспечения соблюдения природоохранных требований на предприятиях создаются специальные экологические службы, осуществляющие производственный экологический контроль (ПЭК). ПЭК направлен на проверку выполнения требований законодательства и включает в себя такие направления,



как инспекционный контроль, производственный эколого-аналитический контроль (ПЭАК) и производственный экологический мониторинг (ПЭМ).

Ричтраки – это незаменимое оборудование для работы на складах и в производстве. При правильной эксплуатации они обеспечивают безопасность работников и сокращают время на перемещение грузов. Внедрение предложенных мероприятий позволит предприятию не только соблюсти требования законодательства [2], но и снизить эксплуатационные издержки.

### Список литературы

1. Константинов В.М. Экологические основы природопользования: учебное пособие для студентов учреждений среднего профессионального образования / В.М. Константинов, Ю.Б. Челидзе. – Москва: Мастерство, 2001. – 206 с.

2. Сокращение выбросов загрязняющих веществ, сбросов загрязняющих веществ при хранении и складировании товаров (грузов) / Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии. – Москва: Бюро НДТ, 2019. – 321 с.

3. Пичхадзе В.Р. Современные требования безопасности к конструкциям подъёмно-транспортных машин и механизмов / В.Р. Пичхадзе, Л.В. Пахомова, О.В. Щербакова // Транспортные системы: безопасность, новые технологии, экология, Якутск, 08 апреля 2022 года. – Якутск: ЯИВТ, 2022. – С. 211-215.

## РАЦИОНАЛЬНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ОСАДКОВ СТОЧНЫХ ВОД В КАЧЕСТВЕ ВТОРИЧНОГО РЕСУРСА ДЛЯ РЕКУЛЬТИВАЦИИ НАРУШЕННЫХ ЗЕМЕЛЬ

О.С. Бушуева<sup>1</sup>, Д.А. Мельникова<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Самарский государственный технический университет,

<sup>2</sup> Самарский государственный экономический университет,  
г. Самара

**Аннотация.** Статья посвящена актуальной проблеме утилизации осадков сточных вод и их применению в качестве органо-минерального субстрата для рекультивации деградированных и нарушенных земель. Рассмотрены технологические решения, позволяющие трансформировать данные отходы в полезный продукт, снижая антропогенную нагрузку на окружающую среду.

**Ключевые слова:** осадки сточных вод, рекультивация нарушенных земель, органо-минеральные субстраты, утилизация отходов, переработка, почвенное плодородие, экологические риски, рациональное природопользование, компостирование, кавитационная обработка.

В условиях роста урбанизации и интенсификации промышленного производства объёмы образующихся осадков сточных вод (ОСВ) непрерывно увеличиваются. Накопление и неэффективное размещение ОСВ создаёт серьёзные экологические риски: загрязнение почв, грунтовых вод, атмосферы, а также способствует развитию эпидемиологической опасности [1]. В то же время

ОСВ содержат значительное количество органического вещества, макро- и микроэлементов, что позволяет рассматривать их в качестве потенциального сырья для производства рекультивантов и почвогрунтов.

В настоящее время наиболее распространёнными способами обращения с ОСВ являются складирование на полигонах и сжигание, что ведёт к потерям ценных компонентов и дополнительному загрязнению окружающей среды [2]. Альтернативным и экологически ориентированным направлением является переработка ОСВ в стабильные, санитарно-безопасные продукты для использования в земледелии и восстановлении почвенного покрова.

Дегградация земель, в частности эрозия, засоление, снижение содержания гумуса, является значимой проблемой для многих регионов России, включая Самарскую область (Рис. 1). Применение традиционных минеральных удобрений и пестицидов лишь частично решает проблему плодородия, зачастую усугубляя физико-химические и биологические свойства почв [3].



Рис. 1. Типы дегградации земель

Переработка ОСВ в органо-минеральные субстраты позволяет решить две взаимосвязанные задачи: утилизировать отходы и получить востребованный продукт для восстановления почвенного плодородия [4]. На основе анализа существующих технологий предлагаются две принципиальные схемы переработки ОСВ (Рис. 2; 3).

Первая схема включает этап механического обезвоживания и термической сушки ОСВ до влажности 40-45 %, последующее смешение с структурообразователями (например, торф, опилки) и биопрепаратами для компостирования. Созревание смеси происходит в биотермических буртах.

Вторая схема основана на кавитационно-термической обработке сырого осадка (влажность 90-95 %) с разделением на твёрдую и жидкую фазы. Жидкая фаза направляется на доочистку, а обезвоженная твёрдая фаза смешивается с минеральными добавками (фосфогипс, цеолиты) и гранулируется с получением органо-минерального удобрения пролонгированного действия. Данный метод также обеспечивает инактивацию патогенной микрофлоры и семян сорных растений.

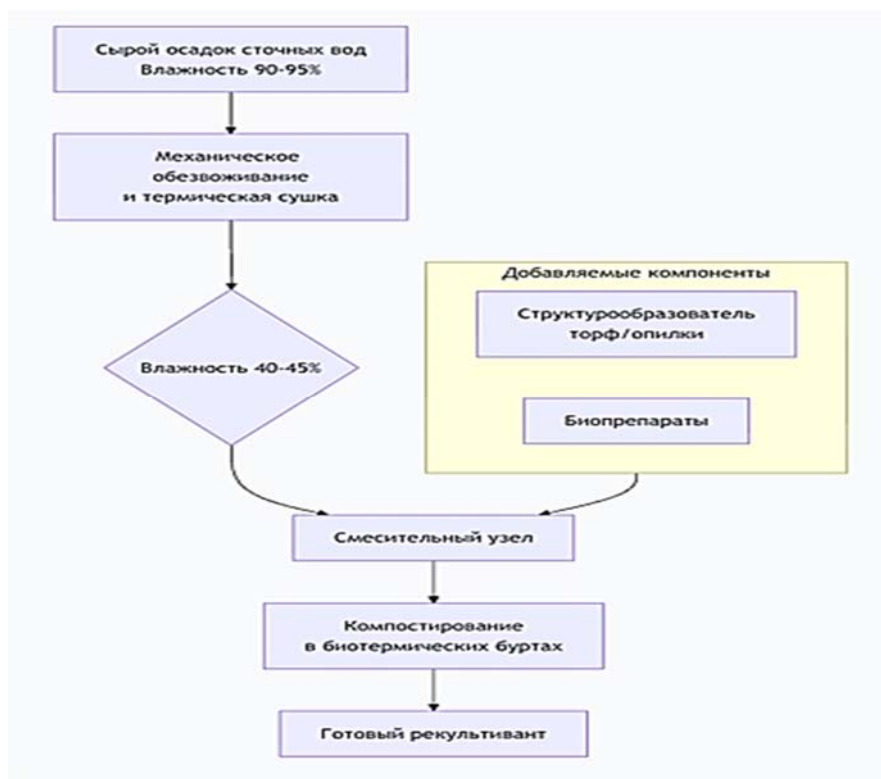


Рис. 2. Традиционная технология с компостированием

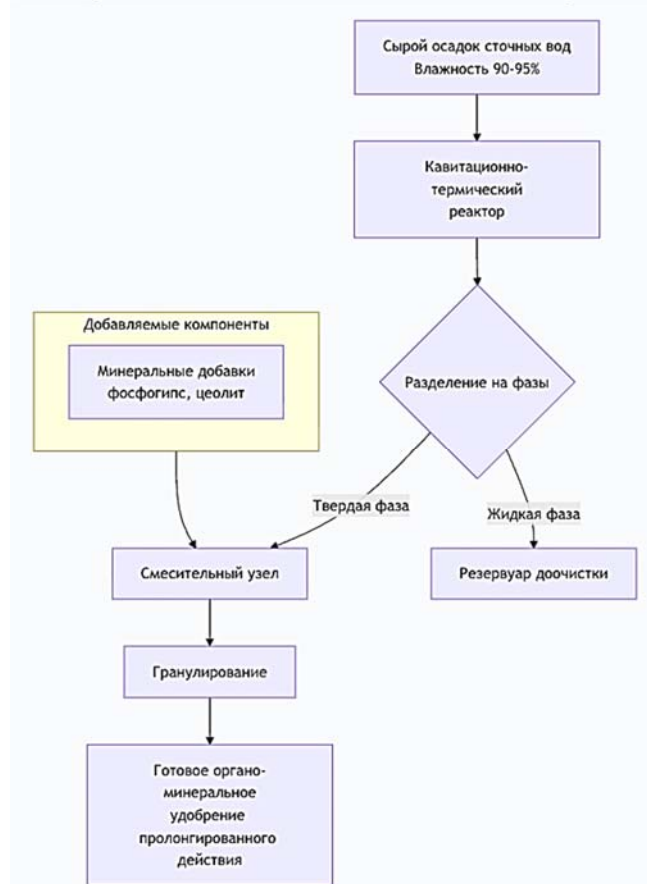


Рис. 3. Инновационная технология с кавитационно-гранулированием

Сравнительный анализ расхода компонентов для получения 1 тонны рекультиванта по двум предложенным схемам представлен в таблице.

Сравнительный анализ		
Наименование компонента	Схема 1 (компостирование)	Схема 2 (кавитационно-гранулирование)
Осадок сточных вод (в пересчёте на сухое вещество)	1000 кг	1000 кг
Структурообразователь (торф/опилки)	1500 кг	500 кг
Минеральная добавка (фосфогипс)	300 кг	200 кг
Биопрепарат	2,0 л	0,5 л
Вода для обработки	500 л	200 л

Анализ данных показывает, что вторая схема требует меньшего количества вспомогательных материалов и воды на тонну перерабатываемого осадка, что указывает на её потенциальную экономическую и ресурсную эффективность.

Преимущества предлагаемых решений:

Предотвращение размещения ОСВ на полигонах, снижение токсической нагрузки на почвы и водные объекты.

Возврат в природный круговорот органического вещества и питательных элементов.

Получение стандартизированного продукта для восстановления деградированных земель и улучшения почвенного плодородия.

Таким образом, внедрение технологий переработки осадков сточных вод в органо-минеральные рекультиванты представляет собой комплексное решение проблемы отходов и деградации земель, соответствующее принципам устойчивого развития и рационального природопользования.

### Список литературы

1. ГОСТ Р 17.4.3.07-2001. Охрана природы. Почвы. Требования к свойствам осадков сточных вод при использовании их в качестве удобрений.
2. Мироненко О.В. Гигиеническая оценка воздействия выбросов из тела полигона для складирования осадков сточных вод на здоровье населения / О.В. Мироненко, А.В. Киселев, Х.К. Магомедов [и др.] // Экология человека. – 2020. – № 11. – С. 4-13. – DOI 10.33396/1728-0869-2020-11-4-13. – EDN TKLLQV.
3. Зайцева Н.А. Использование осадков сточных вод в качестве удобрений / Н.А. Зайцева, А.Н. Пырскова // Международный научно-исследовательский журнал. – 2015. – № 3-1(34). – С. 104-106. – EDN TNZMTB.
4. Зинченко М.Г. Технология переработки твёрдых бытовых отходов и осадков сточных вод в органо-минеральные удобрения / М.Г. Зинченко, В.П. Шапорев // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. – 2014. – № 3. – С. 149-152. – EDN SGFEDX.

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЫСОТЫ НАСЫПИ НА УЧАСТКЕ НАЛЕДЕОБРАЗОВАНИЯ ГРАФИЧЕСКИМ МЕТОДОМ

В.И. Коннов, Е.Е. Вершинина, В.А. Кирюхина

Забайкальский институт железнодорожного транспорта – филиал ФГБОУ ВО  
«Иркутский государственный университет путей сообщения» в г. Чите,  
г. Чита

**Аннотация.** В работе рассмотрены случаи воздействия наледных участков на железнодорожные насыпи в зимних условиях в Забайкалье. Залегание подземных вод, сезонная глубина промерзания грунтов, виды многолетнемерзлых грунтов, их температурные характеристики в значительной степени влияют на выбор и расчет противоналедных мероприятий. Предложен графический метод определения высоты насыпи  $H$  на участке наледообразования.

**Ключевые слова:** железнодорожная насыпь, наледные участки, канавы, выемки, номограмма, параметры насыпи.

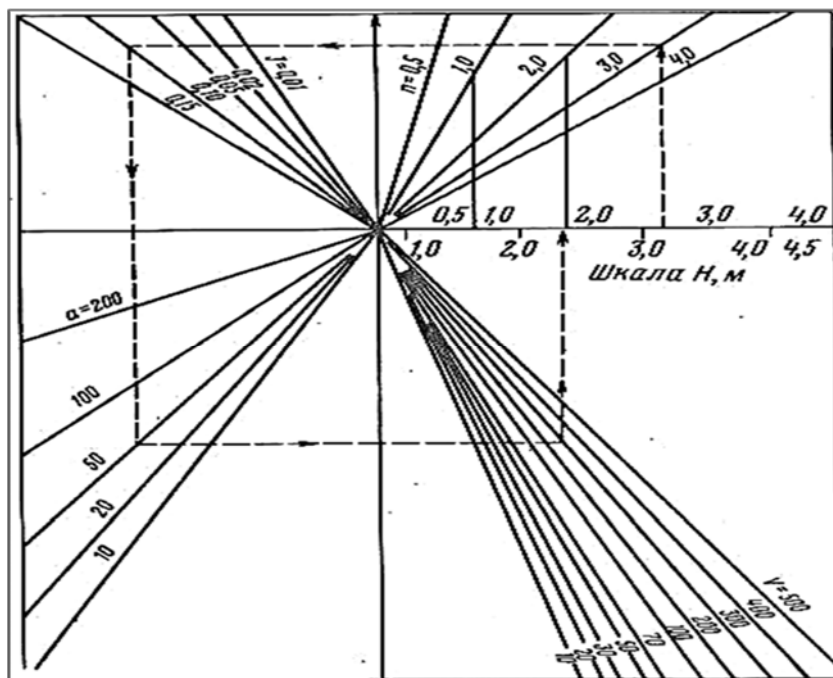
Приведенные ранее теплотехнические расчеты по назначению высоты земляного полотна на наледных участках (Коннов В.И., 2022, 2023, 2024 г) необходимо выполнять при проектировании в районах островной мерзлоты и глубокого сезонного промерзания грунтов [1-3].

Выполненные теоретические и экспериментальные исследования, опыт строительства земляного полотна на участках прогнозируемых наледей убедительно показывают, что на таких участках следует избегать устройства широких и глубоких (вскрывающих водоносные слои) водоотводных канав, кювет-резервов, выемок, временных проездов, автозимников (методом расчистки снега) и т.п. Водоотводные канавы должны быть как можно уже и мельче и предусматривать утепление на зимний период [4].

Особенно опасно устройство на наледных участках выемок, прорезающих водоносные горизонты. Если их строительство неизбежно, практика рекомендует производить уширение выемок с установкой противоналедных заборов и назначением мер по отводу воды, образовавшейся от таяния наледи. Противоналедный забор устраивается из железобетонных или деревянных элементов и размещается вдоль полотна в пределах всей уширенной части выемки. Для отвода воды при таянии льда и во избежание переувлажнения грунта в откосах выемки и основания земляного полотна предусматривается устройство углубленного кювета или лотка с продольным уклоном не менее 0,005, а также соответствующее укрепление откосов и дна канавы.

Возможны случаи, когда земляное полотно проектируется в непосредственной близости или на участке действующей наледи, т.е. когда наледь и земляное полотно находятся в контакте [5]. В этих случаях наиболее радикальной мерой противоналедной борьбы следует считать устройство земляного полотна из дренирующих грунтов, возвышающегося (обычно не менее чем на 0,5 м) над расчетной отметкой поверхности наледи. Если дренирующий грунт отсутствует и потребуется использовать недренирующий грунт, на таких участках необходимо проектировать с нагорной стороны бермы,

предохраняющие от переувлажнения грунты в теле насыпи, или соответствующую конструкцию откоса и его укрепления. Высоту насыпи или бермы можно определить по номограмме, приведенной на рис. 1 и разработанной С.Д. Невским (1971). Для пользования номограммой необходимо знать: отношение  $n$  длины наледи  $l_M$  к ее ширине  $b_M$  ( $n = l_M/b_M$ ), уклон наледного участка  $J$ , удаление трассы дороги от головы наледи  $a$  и максимальный объем наледи  $V$ . Порядок пользования номограммой показан стрелками на рисунке. На оси абсцисс вверху (правый верхний квадрант) откладывают установленное в процессе изысканий или расчетом значение  $n$  и опускают вертикаль до пересечения с лучом, имеющим одноименное значение. Из точки пересечения проводят горизонталь в левый верхний квадрант до пересечения с лучом, имеющим значение  $J$ , также определенное при изысканиях. Из точки пересечения опускают вертикаль в левый, нижний квадрант до пересечения с заданным значением  $a$ . Из полученной точки пересечения проводят горизонталь в правый нижний квадрант до пересечения с лучом, имеющим значения, вычисленного по методикам или определенного изысканиями  $V$ . Из точки пересечения на ось абсцисс опускают вертикаль и на оси абсцисс внизу находят требуемое значение.



Номограмма для определения высоты насыпи  $H$  на участке наледообразования (Невский, 1971)

### Список литературы

1. Экологическая и техносферная безопасность. Научно-прикладные задачи и решения: монография / под общ. ред. Научного совета ГНИИ «Нацразвитие». – СПб: ГНИИ «Нацразвитие», 2024. – 80 с. ISBN 978-5-00213-407-6 DOI 10.37539/240704.2024.56.58.001

2. Данильченко С.Л. Развитие российской социально-экономической системы: вызовы и перспективы: монография / С.Л. Данильченко, А.Н. Фомичев, В.Н. Круглов [и др.]; гл. ред. Э.В. Фомин; Чувашский государственный институт культуры и искусств. – Чебоксары: Среда, 2024. – 200 с. ISBN 978-5-907830-14-1. DOI 10.31483/a-10584

3. Качество жизни населения и экология: монография / Под общ. ред. Л.Н. Семерковой. – Пенза: РИО ПГСХА, 2015. – 140 с. – Текст: непосредственный.

4. Алексеев В.Р. Основные итоги изучения наледей на территории Сибири и Дальнего Востока / В.Р. Алексеев, Н.Ф. Савко, А.И. Сизиков – Текст: непосредственный // Зап. Забайкальского филиала Геогр. Об-ва СССР. – Чита, вып. 92, 1973. – С. 7-98.

5. Ельчанинов Е.А. Мероприятия по снижению пучения и осадки грунтов оснований горных и природоохранных сооружений в Забайкалье / Е.А. Ельчанинов [и др.] – Текст: непосредственный // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2014. – № 4. – С. 86-91.

## **УГЛЕРОД ДЕПОНИРУЮЩИЕ СВОЙСТВА ОСНОВНЫХ ЛЕСООБРАЗУЮЩИХ ДРЕВЕСНЫХ ВИДОВ В ЛЕСНОМ ФОНДЕ В ГРАНИЦАХ БЕЛОРЕЦКОГО РАЙОНА РЕСПУБЛИКИ БАШКОРТОСТАН**

Э.Ф. Сайфуллина, Э.Г. Нургаллин, И.Г. Сабирзянов  
ФГБОУ ВО Башкирский ГАУ,  
г. Уфа

**Аннотация.** Изучены характеристики основных лесообразующих древесных видов в лесном фонде в границах Белорецкого административного района в Республике Башкортостан. Выполнены расчеты запасов накопления биомассой древостоев углеродной массы. Выделены виды деревьев с относительно лучшими углерод депонирующими способностями.

**Ключевые слова:** Белорецкий район, лесообразующие древесные виды, динамика площадей, запасов, депонирование углерода.

**Введение.** Белорецкий район является одним из крупных лесных и промышленных регионов Республики Башкортостан (РБ). Ведущими отраслями в районе являются черная металлургия, металлообработка и машиностроение, где наиболее значимые предприятия – АО «Белорецкий металлургический комбинат», ЗАО «Белорецкий завод рессор и пружин». Однако, с увеличением мощностей производства и улучшением экономических показателей района, происходит и некоторое увеличение выбросов в атмосферу загрязняющих веществ. По данным Минэкологии Республики Башкортостан объем валовых выбросов загрязняющих веществ в атмосферу в год составляет 3,6 тыс. тонн [4]. Различные виды древесной растительности по-разному выполняют функции накопления биомассой углерода, поэтому наиболее важное место занимает

сегодня изучение углерод депонирующих способностей насаждений в разрезе их породного состава [3,5].

**Цели.** Изучение углерод депонирующего потенциала древостоев в лесном фонде в границах Белорецкого административного района в Республике Башкортостан.

**Задачи.**

– Изучение площадей и запасов основных лесообразующих древесных видов в границах Тирлянского, Авзянского, Инзерского и Белорецкого лесничеств.

– Расчет и оценка суммарных и средних показателей депонирования углерода в биомассе древостоев на объектах исследования.

**Материалы, методы исследований.** Для выполнения исследования использованы данные учета лесного фонда Министерства лесного хозяйства РБ по состоянию на январь 2025 года. Запасы углерода в биомассе древесной растительности рассчитывались по методике, утвержденной приказом Минприроды России «Об утверждении методик количественного определения объемов выбросов парниковых газов» [2].

**Результаты исследований.** Современная лесистость Белорецкого административного района достаточно высокая и составляет 65.7 %.

Таблица 1

Запас насаждений тыс. м<sup>3</sup> и запас углерода в биомассе древесных видов, тыс. тонн С

Древесный вид	Запас насаждений, тыс. м <sup>3</sup> /запас углерода, тысяч тонн С				Итого
	Молодняки	Средневозрастные	Приспевающие	Спелые и перестойные	
Сосна	6428,2	7397,8	7214,2	16157,7	37197,9
	2378,434	2352,5	2265,259	5186,622	12182,81
Ель	432,4	193,5	746,7	1857	3229,6
	184,6348	67,1445	255,3714	635,094	1142,245
Пихта	66,3	667	955,7	1361,1	3050,1
	24,7962	188,094	258,039	367,497	838,4262
Лиственница	120,3	276,5	564,2	1459,4	2420,4
	60,0297	102,858	204,2404	554,572	921,7001
Кедр	8,0	0,4	0	0	8,4
	3,392	0,1348	0	0	3,5268
Итого по хвойным насаждениям	7055,2	8535,2	9480,8	20835,2	45906,4
	2651,287	2710,732	2982,91	6743,785	15088,71
Вяз и другие ильмовые	2,5	42,8	4,5	98,6	148,4
	1,4575	21,4428	2,286	2268,925	2294,111
Дуб низкоствольный	0,1	7	5,2	122	134,3
	0,0724	3,745	2,6052	59,292	65,7146
Дуб высокоствольный	0	86,5	99,6	377,6	563,7
	0	41,52	47,9076	186,1568	275,5844
Клен	6,4	75,5	60,1	3891,3	4033,3
	3,7312	37,8255	30,5308	2023,476	2095,6



Продолжение таблицы					
Итого по твердолиствен- ным насаждениям	9	211,8	169,4	4489,5	4879,7
	5,2611	104,5333	83,3296	4537,85	4730,974
Береза	321,9	3060,4	3354	19876,2	26612,5
	151,293	1227,22	1281,228	7533,08	10192,82
Осина	766,7	727,7	1285,2	16332,1	19111,7
	329,681	264,8828	436,968	5356,929	6388,461
Ольха серая	10,8	517,5	1307	223,8	2059,1
	4,3848	187,8525	431,31	75,8682	699,4155
Ольха черная	0	0,0	1,1	0,0	1,1
	0	0	0,363	0	0,363
Липа	140,9	1907,3	573,4	12830,8	15452,4
	57,2054	692,3499	189,222	4349,641	5288,419
Тополь	0	0	0,2	1,9	2,1
	0	0	0,066	0,6441	0,7101
Ивы древовидные	0,1	0,4	1,1	0	1,6
	0,0406	0,1452	0,363	0	0,5488
Итого по лиственным насаждениям	1240,4	6213,3	6522	49264,8	63240,5
	542,6048	2372,451	2339,52	17316,16	22570,74
Всего	8304,6	14960,3	16172,2	74589,5	114026,6
	3199,153	5187,716	5405,759	28597,8	42390,42

Лесопокрытая площадь в лесном фонде в границах Белорецкого района, занимающая площадь 760966 га, представлена хвойными, твердолиственными и мягколиственными насаждениями. Основными лесообразующими древесными породами являются: сосна, ель, лиственница, пихта, осина, ольха, дуб, береза, липа, ильмовые. Общий запас древесины в лесном фонде в границах Тирлянского, Авзянского, Инзерского и Белорецкого лесничеств, составляет 114027 тыс. м<sup>3</sup> (таблица 1). Хвойные древостой занимают 40 % площадей, мягколиственные – 55 %, твердолиственные – около 5 % насаждений. При распределении насаждений по группам возраста на долю молодняков приходится 18 %, на долю спелых и перестойных групп – 57 %, а средневозрастные и приспевающие занимают соответственно 13 %, 12 % от общей площади древостоев в лесничестве [1]. Среди хвойных преобладают сосновые насаждения, с долей в структуре – 81 % (таблица 2). Твердолиственные древостой представлены семейством ильмовых с долей – 99 %. Дубы, клены составляют всего около 1% насаждений. Незначительное количество площадей дубрав объясняется тем, что Белорецкий район является границей ареала этого ценного древесного вида. Мягколиственные древесные породы представлены в основном березняками, с долей 44 %, осинниками – 27 %. Площади липняков занимают 27 % территории.

Распределение площадей древесных видов по группам возраста неравномерное из-за неполного освоения спелых и перестойных, в основном мягколистных, насаждений. Идет процесс накопления старовозрастных древостоев. Биомассой древостоев депонировано 42390,4 тыс. тонн углерода.

Максимальное накопление углерода наблюдается в спелых и перестойных насаждениях ели, сосны, лиственницы, где данный показатель достигает от 68,1 до 84,2 тонн углерода с одного гектара. Эти виды древесной растительности отличаются относительно быстрым ростом, хорошим приростом древесной и фито массы и долгой продолжительностью жизни [6]. Кроме высокого экологического потенциала, отличаются и хорошей качественной древесиной.

Среди лиственных пород относительно лучшими выделяются осина, клен, береза. Эти древостой, хотя и уступают по качеству древесины и экологическим потенциалом хвойным видам, являются неплохими накопителями углеродной массы. Диапазон депонированной углеродной массы на одном гектаре находится в пределах от 56 до 63 тонн углерода. Дубовые древостой, несмотря на высокие конверсионные коэффициенты, в насаждениях в районе исследования не выделены как большие накопители углеродной массы, из-за слабой продуктивности.

Таблица 2

Средний запас углерода в биомассе древесных видов, тыс. тонн С/га

Вид древесной породы	Площади, га / средний запас углерода, тыс. тонн С/га			
	Молодняки	Средневозрастные	Приспевающие	Спелые и перестойные
Сосна	79187	33893	30082	74930
	0,03003	0,06941	0,075303	0,06922
Ель	2309	3924	4421	7541
	0,07996	0,017111	0,057763	0,084219
Пихта	2309	3924	4421	7541
	0,01074	0,047934	0,058367	0,048733
Листвен-ница	1487	1425	2552	8139
	0,04037	0,072181	0,080032	0,068138
Кедр	72	1	0	0
	0,04711	0,1348	0	0
Вяз и другие ильмовые	66	426	47	811
	0,02208	0,050335	0,048638	2,797688
Дуб низко- ствольный	3	89	56	1195
	0,02413	0,042079	0,046521	0,049617
Дуб высоко- ствольный	0	716	790	3134
	0	0,057989	0,060643	0,059399
Клен	168	814	508	31732
	0,0222	0,046462	0,060098	0,063768
Береза	13870	27277	21234	133224
	0,01091	0,044991	0,060339	0,056544
Осина	20189	7469	9098	84805
	0,01633	0,035464	0,048029	0,063168
Ольха серая	249	8558	16547	2725
	0,01761	0,021951	0,026066	0,027842
Ольха черная	0	0	10	0
	0	0	0,0363	0

Продолжение таблицы				
Липа	3575	14855	3299	74783
	0,016	0,046607	0,057357	0,058164
Тополь	0	0	1	14
	0	0	0,066	0,046007
Ивы древо- видные	2	6	10	0
	0,0203	0,0242	0,0363	0

**Выводы.** В породной структуре лесничества явно преобладают хвойные насаждения. При этом доля твердолиственных пород является наименьшей, хотя они, наряду с хвойными, обладают высоким потенциалом депонирования углерода.

Относительно лучшими видами по депонированию углерода являются Ель, Сосна, Лиственница, Осина, Клен, Береза.

### Список литературы

1. Лесной план Республики Башкортостана на период с 2019 по 2028 гг.: утверждён Указом временно исполняющего обязанности Главы Республики Башкортостан от 27 декабря 2018 г. № УГ-340 [Текст]. – Уфа: Министерство лесного хозяйства Республики Башкортостан, 2018. – 122 с.

2. Об утверждении методик количественного определения объемов выбросов парниковых газов [Текст]: приказ Министерства природных ресурсов и экологии Российской Федерации от 27 мая 2022 г. № 371

3. Габдрахимов К.М. Воспроизводство и повышение экологической продуктивности лесов Южного Урала [Текст]: монография / К.М. Габдрахимов, И.Г. Сабирзянов. – М.: МГУЛ, 2006. – 310 с.

4. Государственный доклад о состоянии природных ресурсов и окружающей среды Республики Башкортостан в 2023 году [Текст]. Уфа. 330 с.

5. Сабирзянов И.Г. Экологический потенциал лесов Республики Башкортостан [Текст] / И.Г. Сабирзянов, К.М. Габдрахимов // Актуальные проблемы лесного комплекса. Информационные материалы международной научно-технической конференции «Лес-2000». – Брянск, 2000. – С. 28-29.

6. Сабирзянов И.Г. Депонирование углерода растениями в Республике Башкортостан / И.Г. Сабирзянов, К.М. Габдрахимов, Л.Н. Блонская / Вестник Башкирского государственного аграрного университета. – 2019. – № 3 (51). – С. 14-19.

# АДАПТАЦИЯ ВОСТОЧНОГО БЛАГОРОДНОГО ОЛЕНЯ (*CERVUS CANADENSIS SIBIRICUS*) К ФАКТОРАМ СРЕДЫ ОБИТАНИЯ

Н.Д. Овчаренко, Е.А. Кучина  
Алтайский государственный университет,  
Алтайский край, г. Барнаул

**Аннотация** Изучены морфо-физиологические показатели состояния щитовидной железы и кожно-волосного покрова у маралов в разные сезоны с учетом периодов их жизненного цикла. Установлено, что щитовидная железа и кожно-волосной покров участвует в процессах адаптации к таким абиотическим факторам как: температура, доступность корма, которые в свою очередь моделируются длинной фотопериода.

**Ключевые слова:** благородный олень, марал, щитовидная железа, кожно-волосной покров, адаптация.

Согласно современной научной классификации все виды оленей относятся к семейству Оленевые [1]. Семейство Оленевые (Оленьи) включает 12 родов, в том числе и настоящих оленей, к которым относятся пятнистый и благородный олени, обитающие на территории нашей страны. На данный момент благородного оленя *C. elaphus* все чаще рассматривают как видовой комплекс, включающий три вида: восточный благородный олень *C. canadensis*, европейский благородный олень *C. elaphus* и центральноазиатский благородный олень *C. hanglu* [2].

На территории России обитает как европейский благородный олень (кавказский *C. e. maral* и воронежский *C. e. hippelaphus*), так и восточный благородный олень (марал *C. c. sibiricus* и изюбрь *C. c. xanthopygus*) [3].

Маралов и пятнистых оленей издавна разводят на Алтае в звероводческих хозяйствах с целью получения от них пантов и другой продукции [4].

Известно, что в условиях с ярко выраженной сезонностью самыми мощными являются такие факторы, как температура, влажность, освещенность и доступность пищи. От них постоянно зависит жизнедеятельность и на них животные отвечают адекватными реакциями не только поведенческого характера, но и морфофизиологического. У большинства организмов, обитающих в условиях смены климатических режимов, наблюдается наличие сезонных ритмов, охватывающих все системы органов животных, в том числе и эндокринную, которая наряду с нервной обеспечивает адаптацию организма к меняющимся условиям окружающей среды [5; 6].

По данным В.Н. Егеря (1995) характер биологических ритмов у марала наиболее отчетливо проявляется в периодичности размножения и развития молодняка [7]. Гон происходит осенью (сентябрь – октябрь), а отел – весной (конец мая) т.е. в наиболее благоприятные по кормовым условиям сроки. Интенсивность обменных процессов в организме оленей по сезонам претерпевает значительные изменения, у рогачей наивысший обмен веществ наблюдается в период роста пантов (апрель – май) и в период гона (сентябрь – октябрь).

Климат Алтайского края имеет ярко выраженные черты континентальности: холодная, длинная, снежная зима и короткое, теплое, иногда жаркое лето. Средние максимальные температуры июля  $+26 - +28^{\circ}\text{C}$ , экстремальные достигают  $+40 - +42^{\circ}\text{C}$ . Средние минимальные температуры января  $-20 - -24^{\circ}\text{C}$ , абсолютный зимний минимум  $-50 - -55^{\circ}\text{C}$ . [8].

Объектом наших исследований послужили взрослые самцы маралов (7-8 лет) в количестве 20 животных., находящиеся в мараловодческих хозяйствах Алтайского края. Щитовидную железу и кожный покров изучали с использованием классических гистологических и гистохимических методов [9]. Материал отобран в разные сезоны года: зима, весна, лето и осень.

Данные многих исследователей указывают, что щитовидная железа вовлечена в регуляцию процессов энергетического обмена у благородного оленя и других оленевых. Подробный обзор литературы по данному вопросу приведен в нашей монографии «Эндокринная регуляция роста и развития организма Оленевых» [10]. Известно и участие кожного покрова млекопитающих в поддержании температурного гомеостаза.

Нами установлено, что функциональное состояние щитовидной железы, согласно индексу Брауна, (косвенно отражающего функциональное состояние), у марала в ряду зима–весна–лето–осень, (34,9–28,2–23,6–17,5 соответственно). самое низкое зимой и самое высокое осенью, чем ниже показатель индекса Брауна, тем активнее железа [10].

Кожно-волосной покров также претерпевает сезонные изменения, которые проявляются в изменении толщины кожи, соотношением разных видов волос, их количестве на единицу площади и диаметре потовых желез. Толщина кожи у марала увеличивается с наступлением зимы ( $2452 \pm 27,3$  мкм), весной она составляет ( $2245 \pm 24,3$  мкм), значительно уменьшается летом ( $1924 \pm 20,1$  мкм), а затем к осени вновь начинает увеличиваться ( $2264 \pm 33,6$  мкм). Увеличение толщины кожи в зимний период в большей степени идет за счет рогового слоя, а осенью за счет подкожно–жировой клетчатки. Диаметр концевых отделов потовых желез зимой значительно меньше ( $36,3 \pm 2,3$  мкм), чем летом ( $69,0 \pm 2,4$  мкм). Смена волос наблюдается круглогодично и более интенсивно в переходном зимне-весеннем периоде.

Зимний период года характеризуется низкими температурами окружающей среды, уменьшением фотопериода, скудными кормами.

Щитовидная железа у марала зимой, снижая свою активность, участвует в поддержании определенного энергетического баланса наряду с другими механизмами терморегуляции, где уместно вспомнить и установленные нами сезонные колебания показателей кожного покрова. Они проявляются в уменьшении диаметра потовых желез, увеличении количества пуховых волос и объема остевых, а также изменение наклона волос к поверхности кожи [11].

Снижение концентрации тиреоидных гормонов зимой вызывают увеличение времени прохождения пищевого кома по пищеварительному тракту, что способствует лучшему экстрагированию из него питательных веществ. Понижение тиреоидной активности при голодании способствует уменьшению потерь энергии и увеличению жизнедеятельности во время зимней бескормицы.

Это явление характерно и для других видов оленевых: северному оленю, лосю, белохвостому оленю и представляет собой адаптивную реакцию организма для переживания неблагоприятных условий [12].

Таким образом для маралов характерно снижение теплопродукции, а соответственно и теплопотерь в зимний период за счет специфики функционирования щитовидной железы и морфообразовательных процессов в коже и волосяном покрове.

Весенний период у маралов совпадает с увеличением фотопериода, сбросом старых рогов и началом роста новых, активной линькой шерстного покрова и постепенным переходом на естественные корма. Все перечисленное требует высоких энергообменных процессов в организме, для протекания которых необходима мобилизация деятельности всех систем, регулирующих разные виды обмена. Уменьшается по сравнению с зимой индекс Брауна, повышается уровень тиреоидных гормонов в крови, которые наряду с участием в регуляции всех видов обмена, способствуют развитию хрящевой ткани молодых рогов.

Летом обмен веществ у маралов протекает интенсивнее, чем весной. Повышение деятельности щитовидной железы напрямую связаны с изменением внешних факторов, таких как температура и количество пищи. Повышение уровня энергетического обмена, по нашему мнению, в этот период связан в первую очередь с деятельностью щитовидной железы. Эту же закономерность в летний период отмечают в функционировании щитовидной железы у северного оленя [12]. Температура в сочетании с солнечной радиацией значительно влияют на активность щитовидной железы у животных.

Начало роста пантов в весенний период, – в летний период знаменует собой окончание их активного роста. Проведенные нами раннее исследования структуры и гистохимии тканей пантов у оленей показали, что на момент срезки рогов, которая определяется оленеводами визуально, в мозговом слое их основания начинают появляться очаги окостенения, а выше на всем протяжении пантов выявляется зрелая хрящевая ткань [13].

Кожный покров в летний период истончается за счет всех слоев. Активная линька продолжается, уменьшается количество всех видов волос на единицу площади, максимально увеличиваются диаметры концевых отделов потовых желез. Что свидетельствует об участии этих структур в поддержании температурного гомеостаза.

Осенний период у маралов совмещен с гоном, в этот период у рогачей наблюдается наивысший обмен веществ. Во время гона маралы сильно возбуждены, почти не едят и к концу гона сильно худеют. Хотя гон является необходимым и повторяющимся каждый год явлением, его можно рассматривать, как явление стресса в жизни половозрелых самцов маралов, и мобилизация эндокринной системы, становится понятной. Индекс Брауна свидетельствует о всплеске функциональной активности щитовидной железы марала в течение его жизненного цикла.

В кожном покрове в это время наблюдается рост толщи всех слоев, процессы линьки продолжают. диаметр концевых отделов потовых желез постепенно уменьшается ( $64,7 \pm 3,6$  мкм).

Таким образом, морфологические и физиологические процессы, происходящие в щитовидной железе и кожно-волосном покрове марала обеспечивают адаптацию к температурному фактору и количеству доступной пищи, при этом модулируются величиной вотопериода

### Список литературы

1. Соколов В.Е. Систематика млекопитающих / В.Е. Соколов. – М.: Высшая школа, 1979. – 528с.
2. Данилкин А.А. Олени (Cervidae). Млекопитающие России и сопредельных регионов / А.А. Данилкин. – М.: ГЕОС, 1999. – 600 с.
3. Голосова О.С. Определение видового и подвидового статуса благородного (*Cervus elaphus*) и пятнистого (*C. pinnip*) оленей методом молекулярно-генетического анализа / О.С. Голосова, Ж.Е. Громова, А.В. Масленников, М.В. Холодова // Млекопитающие в меняющемся мире: актуальные проблемы териологии (XI Съезд Териологического общества при РАН). – Тов-во научных изданий КМК, г. Москва, 2022.
4. Луницын В.Г. Пантовое оленеводство России / В.Г. Луницын // РАСХН. Сиб. Отд-ние ВНИИПО. – Барнаул, 2004. – 582 с.
5. Фельдман Г.Л. Биоритмология / Г.Л. Фельдман. – Ростов: Изд-во Ростов. ин-та, 1982. – 80 с.
6. Дедов И.И. Биоритмы гормонов / И.И. Дедов, В.И. Дедов. – М., 1992. – 256 с.
7. Егерь В.Н. Пантовое оленеводство / В.Н. Егерь, Н.Г. Деев. – М.: Колос, 1994. – 128 с.
8. <https://docs.cntd.ru/document/550348394/titles/3FV24QB>.
9. Овчаренко Н.Д. Гистологические и гистохимические методы исследования: уч. пособ. / Н.Д. Овчаренко, Е.А. Кучина, Р.В. Тузикова. – Барнаул: Изд-во Алт. ун-та, 2013. – 130 с.
10. Овчаренко Н.Д. Эндокринная регуляция роста и развития организма оленевых: монография / Н.Д. Овчаренко, Л.А. Бондырева, О.Г. Грибанова, О.Е. Власова, И.В. Кудряшова. – Барнаул: АГАУ, 2010 174 с.
11. Ржаницина И.С. Видовые особенности кожи и ее производных у пантовых оленей / И.С. Ржаницина, Н.Д. Овчаренко // Экологические аспекты функциональной морфологии в животноводстве. – М.: Наука, 1986. – С.24-27.
12. Кушнир А.В. Эколого-физиологические адаптации северного оленя: монография / А.В. Кушнир, А.Я. Соколов, Л.И. Гречкина; Рос. акад. наук, Сиб. отд-ние, Ин-т цитологии и генетики, Дальневост. отд-ние, Междунар. науч.-исслед. центр "Арктика". – Новосибирск: Изд-во Сибирского отделения Российской академия наук, 2003. – 104 с.
13. Овчаренко Н.Д. Видовые, возрастные и сезонные особенности гистоморфологии и иннервации кожного покрова пятнистых оленей / Автореф. дис... канд. биол. наук. – Казань, 1988. – 20с.

# ДЕЙСТВИЕ МИКРОБИОЛОГИЧЕСКИХ ПРЕПАРАТОВ АЗОТОВИТ, ФОСФАТОВИТ НА ПОСЕВНЫЕ КАЧЕСТВА СЕМЯН СОИ

В.К. Голубова, О.Р. Богиева, В.Н. Слюсарев, Л.М. Онищенко  
Кубанский государственный аграрный университет  
имени И.Т. Трубилина,  
г. Краснодар

**Аннотация.** Установлено влияние микробиологических препаратов Азотовит (А), Фосфатовит (Ф) и их совместного действия (А+Ф) на посевные качества семян сои. Результаты исследований свидетельствуют об эффективности использования данных препаратов для улучшения важнейших показателей качества семян. Энергия прорастания достоверно возросла в сравнении с контролем на 22 %, а всхожесть на 13 %.

**Ключевые слова:** Азотовит, Фосфатовит, соя, предпосевная обработка, лабораторная всхожесть, энергия прорастания.

**Введение.** Одна из острых проблем в XXI веке – снижающееся плодородие почв. С активным развитием химической промышленности многие сельскохозяйственные производители в растениеводстве реализуют минеральные системы удобрений культур вместо традиционных органо-минеральных. К концу XX века стало очевидно негативное влияние на окружающую среду не научно-обоснованное их применение [7]. В мире увеличиваются площади почв с повышенной кислотностью. По данным FAO они составляют около 30 %. Одна из основных причин этого явления – избыточное применение физиологически кислых удобрений. В связи с этим актуален вопрос рационального использования агрохимических средств. В литературе имеются сведения, что с интенсивными осадками из почвы вымываются в среднем 10 % внесенного минерального азота и около 5 % доступного фосфора. Неусвоенные растениями элементы питания попадают в реки, озера и моря, нарушая баланс в агроэкосистеме [1, 2]. Поэтому наблюдается повышенный интерес аграриев к «зеленым» технологиям. Производители агрохимических средств активно создают микробиологические препараты, которые могут повысить качество продукции и урожай, способствуя улучшению уровня минерального питания растений [4].

Микробиологический препарат Азотовит (А) содержит бактерии *Beijerinckia fluminensis*. Эти бактерии способны производить фермент нитрогеназу, который расщепляет прочную тройную связь в атмосферном азоте ( $N_2$ ) и присоединяет к нему молекулы водорода ( $NH_4^+$ ), делая доступным для растений необходимый для роста вегетативной массы азот. Также бактерии колонизируют ризосферу, потребляя все доступные питательные вещества – этот процесс является лимитирующим фактором для развития патогенных грибов [3, 7, 8].

*Raenibacillus mucilaginosus* – бактерии препарата Фосфатовит (Ф), в ризосфере растений они воздействуют на нерастворимые соединения и препятствуют процессу необменного связывания фосфора и калия с почвенными минералами. Благодаря этому повышается коэффициент усвоения растениями фосфорно-калийных удобрений. Доступность фосфора в критические фазы



вегетации сои крайне важна для формирования большого количества цветков и эффективного завязывания бобов. Фосфатовит (Ф) повышает массу 1000 семян за счет мобилизации почвенного фосфора, который усиливает энергетический обмен в критическую фазу налива семян [3, 4, 7].

Данный механизм не только повышает агрономическую эффективность, но и способствует сохранению почвенного плодородия. Микробиологические препараты особенно значимы на начальных этапах роста и развития растений, то есть на этапе предпосевной обработки семян: бактерии активно размножаются и повышают устойчивость проростков сои к неблагоприятным факторам [4].

**Цель исследования.** Оценить эффективность отдельного и совместного применения микробиологических препаратов «Азотовит» и «Фосфатовит» на посевные качества семян сои сорта Уника при их предпосевной обработке.

#### **Материалы и методы.**

Лабораторный опыт проводился в соответствии с ГОСТ 12038-84 «Семена сельскохозяйственных культур. Методы определения всхожести» [5]. Семена обрабатывали методом замачивания. В чашку Петри закладывалось 25 семян сои по три повторности на каждый вариант. Рабочие суспензии готовили путем разведения маточных растворов препаратов Азотовита (А) и Фосфатовита (Ф) в дистиллированной воде. Норма расхода рабочей суспензии составляла 3,55 мл на 25 семян, что сопоставимо полевой норме расхода препарата 1 л/га при норме высева 100 кг/га, с учетом массы 1000 семян 142 г для сорта Уника. Контрольные семена обрабатывали эквивалентным объемом дистиллированной воды.

Подсчет в процентах энергии прорастания и дружности прорастания определяли на 3-и сутки, лабораторную всхожесть определяли на 6-е сутки с момента закладки опыта [5].

#### **Схема опыта:**

1. Контроль, без обработки
2. Азотовит (А) 2,0; 3,0 и 4,0 л/га. Живые клетки почвенной бактерии *Beijerinckia fluminensis*, штамм Bf 2806, концентрация  $> 1 \times 10^5$  КОЕ/см<sup>3</sup>.
3. Фосфатовит (Ф) 2,0; 3,0 и 4,0 л/га. Живые клетки и споры почвенной бактерии *Raenibacillus mucilaginosus*, штамм Pm 2906, концентрация  $> 1,2 \times 10^5$  КОЕ/см<sup>3</sup>.
4. Азотовит + Фосфатовит (А+Ф) 2,0; 3,0 и 4,0 л/га. *Beijerinckia fluminensis* + *Raenibacillus mucilaginosus*, концентрация  $> 1 \times 10^5$  КОЕ/см<sup>3</sup> и  $> 1,2 \times 10^5$  КОЕ/см<sup>3</sup> соответственно.

Соотношение объемов микробиологических препаратов к объему воды составляло 1:1. В вариантах с совместным применением двух препаратов общий объем препаратов состоял из равных долей каждого, то есть соотношение компонентов было следующим: 0,5:0,5:1.

#### **Результаты и обсуждение.**

Предпосевная обработка семян микробиологическими препаратами – один из экологически обоснованных способов применения агрохимических средств при выращивании сельскохозяйственных культур, который позволяет улучшить посевные качества семян.

На этапе прорастания семян сои особенно эффективны микробиологические препараты, выделяющие органические кислоты, которые оказывают стимулирующее действие на проростки. Эффективность бактерий Азотовита (А) наиболее значима в симбиозе с растениями, уже имеющими корневую систему для осуществления азотфиксации. Однако и в стерильных условиях Азотовит (А) также имеет ряд важных на этапе прорастания семян свойств: бактерии *Beijerinckia fluminensis* оказывают вспомогательный эффект – они синтезируют витамины В1, В2 и В12, выполняющие роль коферментов в реакциях метаболизма [6].

В таблице представлено влияние препаратов Азотовита (А), Фосфатовита (Ф) и их совместного применения (А+Ф) на посевные качества семян сои.

Влияние препаратов Азотовита (А), Фосфатовита (Ф) и их совместного применения (А+Ф) на посевные качества семян сои, 2024 г.

Вариант	Энергия прорастания %	Лабораторная всхожесть %	Скорость прорастания сут.	Дружность прорастания шт./сут.
Контроль, без обработки	72	85	6,4	4,5
Азотовит 2,0 л/га	74	86	6,6	4,4
Азотовит 3,0 л/га	82	88	7,3	3,4
Азотовит 4,0 л/га	74	84	6,5	4,4
Фосфатовит 2,0 л/га	82	86	7,0	3,2
Фосфатовит 3,0 л/га	94	96	7,8	3,0
Фосфатовит 4,0 л/га	90	92	7,6	3,1
А+Ф 2,0 л/га	80	88	7,3	3,1
А+Ф 3,0 л/га	93	98	7,6	3,0
А+Ф 4,0 л/га	80	86	7,0	3,4
НСР <sub>05</sub>	1,3	1,5	0,2	0,2

Действие Азотовита (А) на семенах сои имело наименьшую эффективность в сравнении с вариантами с использованием Фосфатовита (Ф) и смесью двух микробиологических препаратов (А+Ф). Энергия прорастания – это показатель качества семян, который отражает их способность к быстрому и дружному появлению всходов в течение короткого, заранее определенного для каждой культуры срока (обычно 3-5 дней). На варианте с применением препарата Азотовит (А) с дозировкой 4,0 л/га значения оказались меньше контроля на 2 %, а семена с обработкой Азотовит (А) 3,0 л/га показали результат больше контроля на 10 %.

В нашем исследовании наивысшие значения энергии прорастания были выявлены у Фосфатовита (Ф) с различными дозировками – вероятно, это связано со способностью бактерий *Paenibacillus mucilaginosus* выделять стимулирующие рост органические кислоты (молочная, глюконовая и др.), к тому же, эти кислоты создают оптимальные условия слабокислой среды для активности фермента фитазы, который мобилизует фитин – запас фосфора в семенах сои. Вариант Фосфатовит (Ф) 3,0 л/га показал 94 %, это значение выше контроля на 12 %.

Лабораторная всхожесть – это процент проросших семян в лабораторных условиях за установленный срок. Анализ данных свидетельствует, что наибольший процент проросших семян выявлен у вариантов с применением препарата Фосфатовит (Ф). Среди различных дозировок оказалась наиболее эффективной именно 3,0 л/га – 96 %. Семена, обработанные раствором с дозировками 2,0 и 4,0 л/га, имели лабораторную всхожесть несколько ниже – 86 и 92 % соответственно. Совместное действие препаратов Азотовит и Фосфатовит (А+Ф) оказало во всех показателях положительное действие на семена сои. Значения у вариантов с дозировкой 3,0 л/га лабораторная всхожесть семян составила 98 %, что выше контроля на 13 %.

Скорость прорастания – это количественный показатель, который отражает быстроту появления проростков. У контроля этот показатель является удовлетворительным (6,4 дня) – имеется доля семян с пониженной энергией прорастания. Варианты с применением различных дозировок препарата Азотовит (А) проявляли тенденцию к снижению скорости прорастания: 6,5-7,3 сут. – увеличиваются показатели достоверно ( $HCp_{05} = 0,2$ ). Скорость прорастания выше 6,5 – это хорошая скорость, то есть большая часть семян проросла быстро.

Дружность прорастания характеризует степень синхронности появления проростков. Семена с обработкой препаратами в нашем исследовании имели хорошую и удовлетворительную дружность, то есть семена прорастали кучно, всходы равномерные. Здесь также наилучшие показатели имели вариант с обработкой Фосфатовитом (Ф) 3,0 л/га и вариант с совместным применением двух микробиологических препаратов (А+Ф) в той же дозировке 3,0 л/га – 3,0 шт./сут.

**Вывод.** Таким образом, микробиологические препараты Азотовит (А) и Фосфатовит (Ф), а также их совместное действие (А+Ф) в разных концентрациях (2,0; 3,0 и 4,0 л/га) оказывают достоверное положительное значение на активность прорастания семян сои.

Из результатов исследования видно, что наиболее эффективно действие Фосфатовита (Ф) 3,0 л/га – именно этот препарат, повышая посевные качества семян, способствует более интенсивному росту и развития проростков сои. Наилучшие показатели на варианте с применением препарата Азотовит (А) составил в концентрации 3,0 л/га: энергия прорастания – 82 %, лабораторная всхожесть – 88 %, скорость и дружность прорастания составили 7,3 сут и 3,4 шт./сут. соответственно. Совместное применение препаратов (А+Ф) также было наилучшим в дозе 3,0 л/га и мы получили следующие показатели: энергия прорастания – 93 %, лабораторная всхожесть – 98 %, скорость и дружность прорастания составили 7,6 сут и 3,0 шт./сут. На предпосевную обработку семян более эффективное значение оказало совместное действие препаратов (А+Ф), так как были получены наилучшие значения по всем исследуемым показателям.

**Благодарность.** Авторы статьи выражают благодарность генеральному директору компании ДельтаБио – Байкову Евгению Петровичу за консультацию в проведение опыта и предоставлении микробиологических препаратов.

### Список литературы

1. *Status of the world's soil resources (SWSR) – main report [Electronic resource] / Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), Intergovernmental Technical Panel on Soils (ITPS). – Rome: FAO, 2015. – 650 p. – ISBN 978-92-5-109004-6.*
2. *World reference base for soil resources 2006: a framework for international classification, correlation and communication / International Union of Soil Sciences (IUSS). – Rome: FAO, 2006. – 145 p. – (World soil resources reports; 103). – ISBN 92-5-105511-4.*
3. *Азотовит, Фосфатовит // ДельтаБио URL: <https://delta-bio.ru/azotovit> (дата обращения: 17.12.2025).*
4. *Белышкина М.Е. Эффективность применения биологически активных препаратов на посевах сои в условиях Нечерноземной зоны Российской Федерации / М.Е. Белышкина // Вестник Ульяновской ГСХА. – 2021. – №1 (53).*
5. *ГОСТ 12038-84 «Семена сельскохозяйственных культур. Методы определения всхожести».*
6. *Леухина Т.В., Леухина О.В., Дмитриева В.Д., Кузнецов И.И. Оценка сортовой отзывчивости сои на применение биоудобрений на основе гуминовых кислот / Т.В. Леухина, О.В. Леухина, В.Д. Дмитриева, И.И. Кузнецов // Научный журнал молодых ученых. – 2021. – №1 (22).*
7. *Михайлова Н.Н. Применение подкормки микробиологическими препаратами «Азотовит» и «Фосфатовит» на посевах гороха / Н.Н. Михайлова, Л.В. Елисеева, И.П. Елисеев // Аграрный вестник Урала. – 2022. – № 02 (217). – С. 12-22. DOI: 10.32417/1997-4868-2022-217-02-12-22.*
8. *Ториков В.Е. Культурные растения в мировом земледелии. Зерновые и зернобобовые культуры / В.Е. Ториков, О.В. Мельникова, М.В. Резунова. – Санкт-Петербург: Лань, 2023. – 176 с.*

### ОЦЕНКА КОЭФФИЦИЕНТОВ НАКОПЛЕНИЯ РАДИОНУКЛИДОВ В НАЗЕМНОЙ РАСТИТЕЛЬНОСТИ ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТЫХ ПОЧВ В ЗОНЕ ВЛИЯНИЯ НИФХИ ИМ. Л.Я. КАРПОВА

А.А. Удалова<sup>1</sup>, Я.В. Непогодина<sup>2</sup>

<sup>1</sup> ИАТЭ НИЯУ МИФИ,

г. Обнинск

<sup>2</sup> КГУ им. К. Э. Циолковского,

г. Калуга

**Аннотация.** На основе данных мониторинга 2018-2023 гг. рассчитаны коэффициенты накопления ( $K_n$ )  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{40}\text{K}$  в наземной растительности дерново-подзолистых почв санитарно-защитной зоны и зоны наблюдения НИФХИ. Установлено, что  $K_n$   $^{137}\text{Cs}$  в антропогенно нарушенных почвах в 6,5 раз выше, чем в ненарушенных лесных. Максимальные  $K_n$   $^{226}\text{Ra}$  (до 1,27) выявлены в кислых лесных почвах с высоким содержанием органики. Ряд бионакопления:  $^{40}\text{K} \approx ^{226}\text{Ra} > ^{137}\text{Cs} > ^{232}\text{Th}$ .

В отличие от атомной энергетики, радиоэкологические аспекты функционирования ядерно- и радиационно опасных объектов (ЯРОО) неэнергетического профиля изучены недостаточно полно. Существует дефицит репрезентативных данных по коэффициентам накопления естественных радионуклидов ( $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{40}\text{K}$ ) для дикорастущей растительности в условиях дерново-подзолистых почв в зоне влияния радиационно опасного объекта неэнергетического профиля.

Классическим представителем ЯРОО является АО «НИФХИ им. Л.Я. Карпова». Площадка производит радионуклиды медицинского назначения, радиофармпрепараты (РФП), изделия медицинского назначения и инновационные материалы с улучшенными характеристиками посредством модификации материалов в поле ионизирующего излучения.

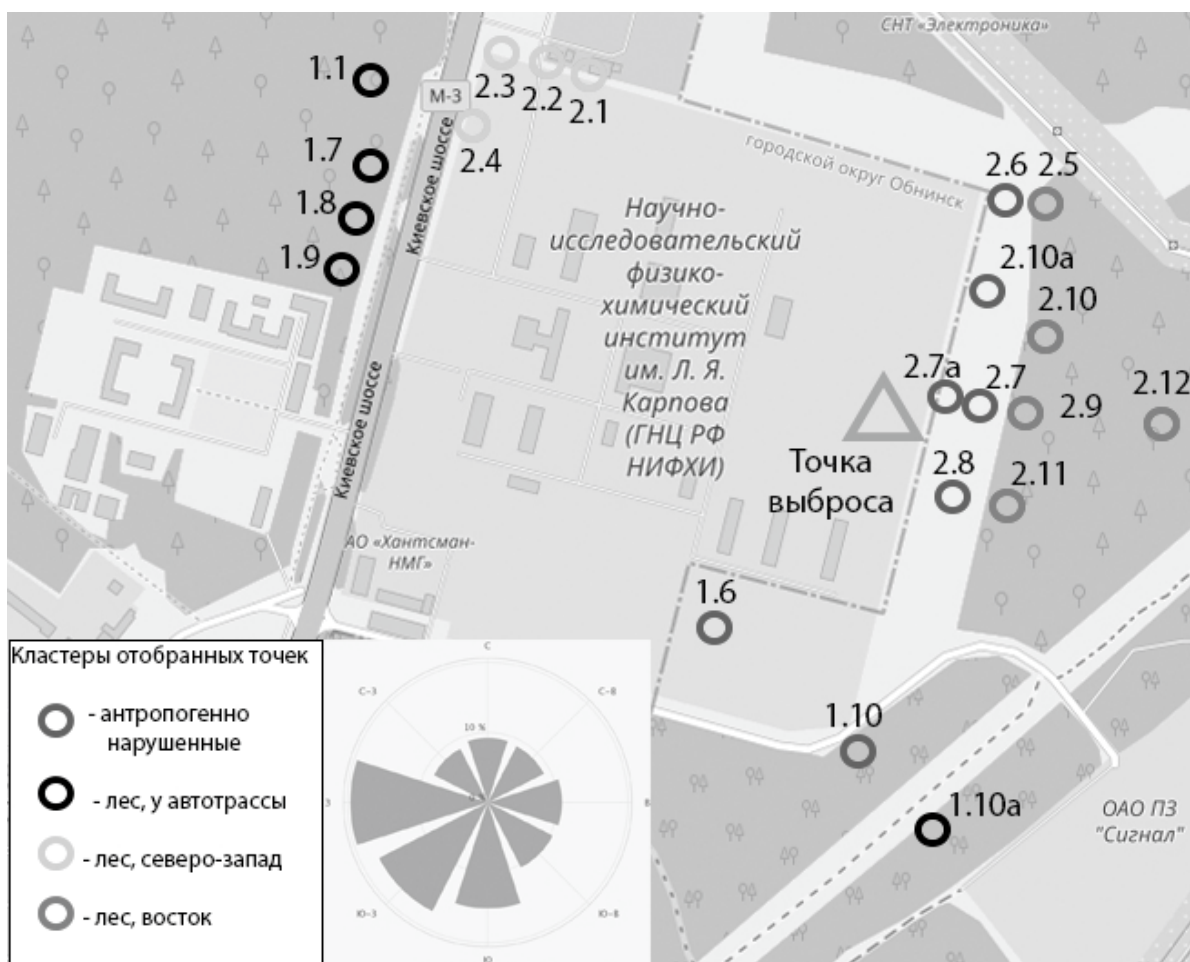
НИФХИ имеет экспериментально-исследовательский комплекс, который включает исследовательскую ядерную установку типа ВВР-ц, ускорители электронов, облучательные установки на основе радионуклида  $^{60}\text{Co}$ .

Радиоэкологическое исследование, сочетающее многолетний мониторинг удельной активности радионуклидов с детальным изучением физико-химических свойств почв, является актуальной научной задачей, имеющей важное прикладное значение для обоснования экологической безопасности и совершенствования систем мониторинга ЯРОО неэнергетического профиля.

В рамках проведения радиоэкологического мониторинга и для получения более детальной информации о состоянии окружающей среды вокруг территории НИФХИ им. Л.Я. Карпова в период с 2018 по 2023 гг. проводился ежегодный отбор почвенных проб и наземной растительности вокруг санитарно-защитной зоны (СЗЗ) и зоны наблюдения (ЗН) (рисунок). При выборе мест пробоотбора учитывались ландшафтные особенности территории и роза ветров, в зависимости от которых точки были распределены по 4 кластерам: 1 – антропогенно нарушенные; 2 – лес у автотрассы; 3 – лес, северо-запад; 4 – лес, восток (ненарушенный). Удельная активность измерена методом гамма-спектрометрии.

Содержание радионуклидов рассматривалось в общей массе растительности в исследуемых точках, собиралась только надземная часть. Животные через пищевые цепи зачастую потребляют не один конкретный вид растительности, их кормовая база смешана. Подобный подход лучше моделирует реальный путь попадания радионуклидов в живые организмы. Накопление радионуклидов в наземной растительности из почвы зависит от таких факторов, как тип почвы и её физико-химические свойства, биологические особенности растений, климатические условия, антропогенное воздействие и время после загрязнения.

Содержание радионуклидов в растительности зависит от их содержания в окружающей среде (в первую очередь в почве, воде и, частично, в воздухе) и от способности конкретного вида растения к усвоению РН. Для изучения параметра перехода радионуклида из почвы в растительность были рассчитаны коэффициенты накопления ( $K_n$ ) [1] (таблица).



Расположение точек отбора проб почвы в СЗЗ и ЗН НИФХИ

Результаты показывают, что параметры накопления радионуклидов растениями на изучаемых территориях изменяются в широких пределах. Коэффициенты накопления  $^{137}\text{Cs}$  в нарушенных почвах (кластер 1) в 6,5 раз выше, чем в ненарушенных лесных (кластер 4). Это говорит о нарушении почвенной матрицы в ходе антропогенного вмешательства, что приводит к повышению биодоступности цезия.

Коэффициенты накопления радионуклидов наземной растительностью

Кластер	$^{137}\text{Cs}$	$^{226}\text{Ra}$	$^{232}\text{Th}$	$^{40}\text{K}$
1 – антропогенно нарушенные	2,34 (n=6)	0,77 (n=3)	0,16 (n=6)	0,79 (n=6)
2 – лес, у автотрассы	0,28 (n=2)	0,05 (n=1)	0,27 (n=2)	1,28 (n=2)
3 – лес, северо-запад	0,28 (n=2)	–	0,06 (n=2)	1,97 (n=2)
4 – лес, восток	0,36 (n=13)	1,27 (n=8)	0,20 (n=12)	0,90 (n=13)

Для  $^{226}\text{Ra}$  максимальный  $K_n$  (1,27) зафиксирован в ненарушенном лесном кластере 4, минимальный (0,05) – у дороги (кластер 2). Это может быть связано с тем, что в кислых лесных почвах с высоким содержанием органики гумус может влиять на подвижность  $^{226}\text{Ra}$ , образуя подвижные соединения с радионуклидом [2]. Однако у автотрассы в кластере 2  $K_n$  (0,05) минимален. Предположительно это может быть связано с загрязнением почв тяжёлыми металлами, конкурирующими за места сорбции с  $^{226}\text{Ra}$ , от автотранспорта. Другим возможным вариантом может быть ощелачивание почв из-за применения противогололёдных реагентов [3].

Во всех кластерах у  $^{232}\text{Th}$  наблюдаются низкие значения  $K_n$  (0,06-0,27), что подтверждает его инертность и слабую миграционную способность [4].

Для  $^{40}\text{K}$   $K_n$  высок и близок к 1 во всех кластерах (0,79-1,97), что подтверждает его активное физиологическое поглощение растениями независимо от свойств почвы [5]. Сниженный  $K_n$  в кластере 1 может быть связан с вымыванием обменного калия при нарушении почвенного покрова, а также снижением корневой активности растений в антропогенно нарушенных почвах.

В ходе работы установлен ряд биологического накопления:  $^{40}\text{K} \approx ^{226}\text{Ra} > ^{137}\text{Cs} > ^{232}\text{Th}$ , который отражает различия в биогеохимическом поведении радионуклидов и соответствует общим биогеохимическим закономерностям.

Антропогенное воздействие человека может опосредованно усиливать переход радионуклидов в растительность путём нарушения естественной структуры почвы, а также изменения микробной активности и окислительно-восстановительных условий.

### Список литературы

1. Кутлахмедов Ю.А. Дорога к теоретической радиоэкологии / Ю.А. Кутлахмедов. – К.: Фитосоциоцентр, 2015. – 360 с.
2. Рачкова Н.Г. Состояние в почвах естественных радионуклидов урана, радия и тория (обзор) / Н.Г. Рачкова, И.И. Шуктомова, А.И. Таскаев // Почвоведение. – 2010. – № 6. – С. 698-705.
3. Малышева А.Г. Эколого-гигиенические проблемы применения противогололёдных реагентов в условиях крупного мегаполиса (на примере территории города Москвы) / А.Г. Малышева, О.В. Шелепова, М.А. Водянова, Л.Г. Донерьян, О.В. Ушакова, С.М. Юдин. – Гигиена и санитария, 2018. – № 97(11). – С. 1032-1037.
4. Манахов Д.В. Формы нахождения  $^{226}\text{Ra}$  и  $^{232}\text{Th}$  в дерново-подзолистоглеевой конкреционной почве / Д.В. Манахов, Е.А. Алёхина, Д.Н. Липатов, С.В. Мамихин // Вестник Московского университета. Серия 17. – Почвоведение. 2019. – №3. – С. 45-52.
5. Парамонова Т.А. Сравнительный анализ поступления цезия-137 и калия-40 в травянистую растительность на радиоактивно загрязненной территории Тульской области / Т.А. Парамонова, Н.А. Романцова // Живые и биокосные системы. – 2013. – № 5. – С. 4.

# ИССЛЕДОВАНИЕ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЯХ ВЕРХНЕВОЛЖСКОЙ ВОДНОЙ СИСТЕМЫ

Г.Н. Иванов, И.В. Кривенко, М.А. Смирнова, С.Р. Испирян  
Тверской государственный технический университет,  
г. Тверь

***Аннотация.** В настоящей работе обобщены результаты мониторинга содержания и распределения тяжелых металлов вдоль течения реки Волги. Описана методика определения накопления тяжелых металлов в донных отложениях. На основе проведенных многолетних исследований установлено распределение содержания тяжелых металлов в донных отложениях верховий Волги и озера Селигер. Проанализированы причины такого распределения.*

Водная система Верхневолжья – река Волга, включая Верхневолжские и Ивановское водохранилища с притоками, многочисленные озера, среди которых озеро Селигер, являющееся естественным аккумулятором и компенсатором воды Верхней Волги – обеспечивает более 75 % водоснабжения Московской агломерации.

Исследования вод не всегда дают возможность полноценно охарактеризовать особенность их загрязнения из-за высокой динамичности состава и дискретности поставки загрязнителей техногенными источниками. Донные отложения (ДО) – седименты – значительно более стабильный компонент природной среды. Являясь конечным звеном ландшафтно-геохимических сопряжений, ДО «интегрируют» геохимические особенности водосборной площади.

Среди химических ингредиентов, определяющих качество природных вод, важная роль принадлежит соединениям тяжелых металлов (ТМ), рассматриваемых в качестве потенциальных токсикантов водных экосистем. В этой связи особое значение имеет изучение процессов обмена ТМ между ДО и водной средой с целью познания их миграции и механизма общего круговорота в водных системах [1].

В настоящей работе обобщены результаты мониторинга содержания и распределения тяжелых металлов вдоль течения реки Волги [2].

Методика исследования включала в себя отбор проб, представляющих собой верхний слой ДО толщиной 10-15 см, определение валового содержания ТМ в образце и сравнение его с фоновым значением содержания металла. Далее для оценки загрязнения использовался показатель накопления (ПН) тяжелыми металлами:

$$\text{ПН} = \frac{C_i - C_{\text{ф}}}{C_{\text{ф}}} \cdot 100\%.$$

Здесь  $C_i$  – концентрация  $i$ -го элемента на данном участке,  $C_{\text{ф}}$  – его концентрация на фоновом участке, где малы антропогенный и техногенный факторы (например, районе Верхневолжских озер (Стерж, Волго и Пено)). Для



исследований использовалась шкала распределения химических элементов в земной коре [3-6]. Анализировались пробы Pb, Cd, Cu, Zn и Cr.

Установлено распределение ТМ в донных отложениях от истока Волги до Иваньковского водохранилища. Географически выделено три участка, характеризующихся различной степенью загрязнения ДО тяжелыми металлами:

1) От истока реки Волги до бейшлота (практически фоновые значения концентрации ТМ в ДО). Здесь различие содержания микроэлементов в ДО на различных участках объясняется различиями скорости течения реки на них при практическом отсутствии антропогенного давления.

2) От бейшлота до города Старица (постепенное увеличение содержания ТМ в ДО). От бейшлота сильное течение не способствует генерации ила и ДО представляют собой песчаные фракции. В результате сноса взвешенных частицы и поступления массы воды от притоков концентрации микроэлементов после бейшлота резко снижается. Выявлено скачкообразное увеличение концентрации ТМ вблизи населенных пунктов поселок Селижарово, города Зубцов, Ржев, Старица за счет увеличения объема городских сточных вод.

3) От города Старица до Иваньковского водохранилища (характеризуется более мощным антропогенным воздействием и более медленным течением Волги, приводящим к значительному росту концентрации ТМ в ДО). Уменьшение ПН ниже Твери объясняется тем, что пологий песчаный берег и отсутствие излучин не способствует образованию ила.

Также были определены концентрации ТМ в донных отложениях озера Селигер. Выявлено повышенное содержание Cr в ДО Осташковского плеса. Это связано с развитым кожевенным производством в г. Осташков.

### Список литературы

1. Kwon Y.-T. *Sediment Metal Speciation for the Ecology Risk Assessment* / Y.-T. Kwon, C.-W. Lee // *Analytical Science*, 2001. – Vol. 17(5). – pp. 653-658.
2. Косов В.И. Исследование уровня загрязнений тяжелыми металлами донных отложений Верхней Волги / В.И. Косов, Г.Н. Иванов, В.В. Левинский, Е.В. Ежов // *Водное хозяйство России*, 2000. – Т. 2, № 6. – С. 448-453.
3. Коломийцев Н.В. Методика исследования загрязнения рек московского региона тяжелыми металлами / Н.В. Коломийцев, А.О. Щербаков, Г. Мюллер // *Жизнь Земли*, 1997. – № 30. – С.164-171.
4. Уваров А.Г. Оценка степени загрязнения тяжелыми металлами реки Москвы и возможность использования макрофитов рода *Potamogeton* для биомониторинга тяжелых металлов в реке / А.Г. Уваров // *Известия Самарского научного центра Российской академии наук*, 2015. – Т.17, № 6. – С. 150-158.
5. Алекмеев Ю.В. Тяжелые металлы в агроландшафте: монография / Ю.В. Алекмеев. – СПб.: ПИЯФ РАН, 2008. – 216 с.
6. Фомина А.А. Анализ содержания тяжелых металлов в высших водных растениях Волгоградского водохранилища в районе агломерации Саратов-Энгельс / А.А. Фомина, Е.И. Тихомирова, А.И. Кораблева // *Известия Самарского научного центра Российской академии наук*, 2016. – Т.18, № 2(3). – С. 822-826.

# МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И ПРОГНОЗИРОВАНИЕ АВАРИЙНОГО РИСКА

А.А. Качалова, А.А. Маслова  
Тульский государственный университет,  
г. Тула

***Аннотация.** Математическое моделирование аварийного риска в техносфере является ключевым инструментом для оценки вероятности отказов и их возможных последствий, что позволяет выработать превентивные меры и систему управления безопасностью.*

Современная техносфера – это сложная система, включающая промышленные объекты, транспортную и энергетическую инфраструктуру, чьи отказ или аварии могут привести к серьёзным человеческим, экономическим и экологическим последствиям. Для эффективного управления такими рисками необходимы инструменты, способные количественно описывать неопределённость, прогнозировать аварии и оценивать последствия. Математическое моделирование аварийного риска предоставляет такие возможности и является основой для построения систем предупреждения и управления безопасностью.

В российской практике особенно актуально использование моделей риска в соответствии с национальными стандартами. Так, новый стандарт ГОСТ Р 72160-2025 регламентирует применение методов количественной оценки рисков в проектах и подчёркивает роль метода Монте-Карло в построении цифровых профилей риска [1]. Также стандарт ГОСТ Р ИСО 11231-2024 устанавливает применение метода вероятностного анализа (PRA) для оценки риска сложных систем с цепочками нежелательных событий [2].

## ***Вероятностно-статистические модели***

Одним из фундаментальных подходов считается использование вероятностных распределений для описания времени до отказа и частоты аварийных событий. Такие модели базируются на теории надёжности и позволяют построить распределения времени отказов (например, распределения Вейбулла или экспоненциальное), а также описывать потоки отказов через пуассоновские процессы. При этом можно оценивать вероятность того, что определённое число отказов произойдёт за заданный период времени.

Для техносферных систем, где события аварии редки, но последствия серьёзны, пуассоновские процессы особенно полезны, поскольку они описывают независимые случайные события с постоянной интенсивностью. Метод позволяет моделировать частоту аварий и прогнозировать интервалы между событиями, что важно для планирования профилактики и технического обслуживания.

## ***Сценарные методы (дерево отказов)***

Другой широко используемый метод – построение дерева отказов (Fault Tree Analysis, FTA). Дерево отказов логически декомпозирует аварийную ситуацию на базовые события (отказы компонентов, человеческий фактор,

внешние воздействия), связывая их через логические операторы (AND, OR). Вероятность верхнего (нежелательного) события вычисляется через вероятности базовых событий.

Такой подход особенно полезен для детального анализа причинно-следственных цепочек, позволяет выявить ключевые уязвимости системы, а также рассчитать вклад отдельных компонентов в общий риск аварии. В учебных пособиях по техносферной рискологии, таких как труд Белов П. Г., описаны методики построения и анализа деревьев отказов в опасных технологических системах [3].

### ***Имитационные методы (Монте-Карло)***

Когда система слишком сложна для аналитических моделей, применяют методы имитационного моделирования. Метод Монте-Карло позволяет проводить множество случайных симуляций сценариев аварий, варьируя вероятности отказов, параметры системы и внешние воздействия. Результатом является распределение возможных исходов и профиля риска.

Новый российский стандарт ГОСТ Р 72160-2025 прямо предусматривает применение метода Монте-Карло для получения цифрового профиля риска, что делает этот подход соответствующим национальным требованиям [1]. Имитационное моделирование особенно актуально для систем с высокой степенью неопределённости, поскольку позволяет исследовать «хвосты распределений» (маловероятные, но крайне серьёзные сценарии).

Прикладная техносферная рискология – как область знания – объединяет теорию риска с анализом опасных зон и жилых территорий. Например, в статье «Прикладная техносферная рискология в риск-анализе селитебных зон» показано, как системный анализ и моделирование опасных процессов применяются для оценки риска жилых территорий, прилегающих к промышленным объектам. Авторы используют вероятностные и сценарные методы для расчёта техногенной составляющей экологического риска [4].

Другой пример – анализ причинно-следственных цепочек отказов на промышленных объектах, описанный в учебной литературе. Книга Белова П.Г. включает разбор моделирования аварий реактивных систем, трубопроводов и других элементов техносферы, демонстрируя, как деревья отказов могут применяться для прогноза и управления безопасностью [3].

Каждый из рассмотренных методов имеет свои сильные и слабые стороны. Вероятностно-статистические модели обеспечивают простоту и аналитическую трактовку, но могут не учитывать сложные взаимозависимости или нелинейность поведения системы. Сценарные деревья отказов хорошо моделируют причинно-следственные цепочки, однако требуют качественных данных об отказах и экспертных оценок. Имитационные методы, такие как Монте-Карло, предлагают гибкость и мощь, но требуют значительных вычислительных ресурсов и достаточного объёма статистики для калибровки.

Оптимальным подходом представляется комбинирование методов: вероятностные распределения используются для описания частот отказов, деревья отказов – для анализа сценариев, а Монте-Карло – для оценки распределения риска и «хвостовых» последствий. Такой гибридный подход

позволяет обеспечить более надёжный прогноз и соответствует требованиям современного менеджмента риска.

С учётом российских реалий развитие моделирования техногенного риска должно учитывать национальные стандарты, такие как ГОСТ Р 72160-2025 и ГОСТ Р ИСО 11231-2024, и опираться на отечественные учебные и научные разработки.

Математическое моделирование аварийного риска в техносфере – это мощный и необходимый инструмент для оценки, прогнозирования и управления нежелательными событиями. Вероятностно-статистические, сценарные и имитационные методы дополняют друг друга и в совокупности дают наиболее полную картину риска. Использование их в рамках национальных стандартов России повышает качество прогноза и безопасность технологических систем. В будущем расширение применения гибридных моделей (включая методы машинного обучения) и интеграция с системами мониторинга техносферы будут способствовать созданию динамичных, адаптивных систем управления риском.

### **Список литературы**

1. ГОСТ Р 72160-2025. Национальный стандарт Российской Федерации. Менеджмент риска. Управление рисками проектов. – Утверждён Приказом Росстандарта от 19.06.2025 № 591-ст.
2. ГОСТ Р ИСО 11231-2024. Национальный стандарт Российской Федерации. Менеджмент риска. Метод вероятностной оценки риска (PRA). – Утверждён Приказом Росстандарта от 20.08.2024 № 1089-ст.
3. Белов П.Г. Системный анализ и моделирование опасных процессов в техносфере: учебное пособие / П.Г. Белов. – М.: Академия, 2003. – 342 с.
4. Муравьёва Е.В. Прикладная техносферная рискология в риск-анализе селитебных зон / Е.В. Муравьёва, В.Л. Романовский, А.В. Кузьмин, Д.Ш. Сибгатулина // Безопасность жизнедеятельности и экология. – 2016. – № 17. – С. 45-54.

## **ВЗАИМОСВЯЗЬ ПРОЦЕССОВ ДЕГАЗАЦИИ И МИГРАЦИИ ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ ВЕЩЕСТВ В ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ НА ПОЗДНИХ СТАДИЯХ ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА ПОЛИГОНОВ ТВЕРДЫХ КОММУНАЛЬНЫХ ОТХОДОВ**

А.А. Маслова, А.А. Качалова  
Тульский государственный университет,  
г. Тула

**Аннотация.** Полигонное размещение твёрдых коммунальных отходов остаётся одним из наиболее распространённых способов обращения с отходами в России, несмотря на развитие технологий переработки и термического обезвреживания. Значительная часть действующих и выведенных из эксплуатации полигонов продолжает представлять экологическую опасность вследствие длительных процессов трансформации отходов, сопровождающихся образованием свалочного газа и фильтрата. Эти процессы сохраняют

*высокую интенсивность даже спустя десятилетия после завершения эксплуатации объекта, что подтверждается многолетними наблюдениями отечественных и зарубежных исследователей.*

Среди ключевых факторов, определяющих экологические риски рекультивированных полигонов твердых коммунальных отходов (далее – ТКО), выделяются процессы дегазации и миграции загрязняющих веществ. Свалочный газ, образующийся в результате анаэробного разложения органической фракции ТКО, оказывает влияние на физико-химические свойства массива отходов, создаёт избыточное давление и способствует формированию каналов переноса газообразных и жидких веществ [1]. Одновременно с этим фильтрат, содержащий органические и неорганические загрязнители, способен мигрировать в подземные и поверхностные воды, формируя техногенные аномалии и оказывая негативное воздействие на экологическое состояние прилегающих территорий [2].

Несмотря на наличие значительного объёма исследований, посвящённых дегазации и миграции фильтрата, вопросы их взаимосвязи изучены недостаточно полно. В отечественной научной литературе воздействия рассматриваются преимущественно отдельно, без глубокого анализа функциональной взаимозависимости этих процессов. Между тем их совместное влияние определяет характер постэксплуатационного состояния полигона и формирует специфику дальнейших экологических рисков.

Процессы дегазации рекультивированных полигонов ТКО определяются стадией биохимического разложения органической фракции отходов и сохраняют активность в течение 20-40 лет после закрытия объекта, что подтверждается данными длительных экспедиционных наблюдений и инженерно-экологических обследований в России [3, 4]. Свалочный газ формируется преимущественно в анаэробных условиях за счёт последовательных стадий гидролиза, ацидогенеза, ацетогенеза и метаногенеза органических соединений [5]. На поздних стадиях жизненного цикла полигона интенсивность газообразования снижается, однако процессы диффузного и конвективного переноса газа остаются значимыми для экологической обстановки на прилегающих территориях [6].

Состав свалочного газа характеризуется высокой вариативностью и зависит от возраста полигона, степени разложения отходов, влажности массива, температуры и режимов аэрации. В среднем свалочный газ содержит 40-60 % метана, 35-45 % углекислого газа, а также примеси сероводорода, аммиака, летучих органических соединений (далее – ЛОС), меркаптанов и тяжёлых металлов в газоаэрозольной форме [1, 7]. На рекультивированных полигонах наблюдается тенденция к уменьшению доли метана и росту относительного содержания углекислого газа и ЛОС вследствие перехода процессов разложения в стадию гумусообразования и окисления органики [4].

Одним из ключевых факторов экологической опасности свалочного газа является формирование избыточного газового давления в теле полигона. При недостаточной эффективности систем пассивной или активной дегазации

происходит накопление газа в локальных зонах массива, что приводит к формированию трещин, разуплотнению грунта и развитию новых путей миграции газообразных и жидких фаз [8]. Доказано, что именно газовое давление является одним из определяющих факторов прорыва газов в поверхностные слои рекультивационного покрытия, а также способствует вертикальной и горизонтальной миграции загрязняющих веществ [9].

На поздних стадиях жизненного цикла полигонов происходит перераспределение потоков свалочного газа: уменьшается объём организованных выходов через газоотводящие скважины и возрастает доля диффузного переноса через поры, трещины и дефекты рекультивационного слоя [6, 10]. Этот процесс существенно влияет на эффективность рекультивационных мероприятий, поскольку повышает вероятность эмиссии метана и ЛОС в атмосферу, а также усиливает процесс газовой конвекции – одного из факторов, способствующих переносу загрязняющих веществ в окружающие природные среды [7].

Миграция загрязняющих веществ из массива рекультивированного полигона ТКО обусловлена образованием фильтрата – высокоминерализованной многокомпонентной жидкости, формирующейся вследствие инфильтрации атмосферных осадков, контактирующих с отходами, а также за счёт внутренних процессов разложения органической фракции. Состав фильтрата полигона на поздних стадиях жизненного цикла характеризуется устойчивым присутствием органических кислот, аммонийных соединений, тяжёлых металлов (Zn, Cu, Pb, Cd), хлоридов, сульфатов, фенолов, полициклических ароматических углеводородов (ПАУ), а также остаточных ЛОС, образующихся как в результате гидролиза, так и газовой фазы трансформации отходов [2].

Исследования российских полигонов показывают, что через 10-20 лет после закрытия объекта наблюдается постепенное снижение биологической нагрузки фильтрата, однако концентрации минеральных загрязняющих веществ и тяжёлых металлов могут сохраняться на стабильном уровне или даже увеличиваться вследствие изменения кислотно-щелочного равновесия и глубинных процессов минерализации [9]. Длительный мониторинг на ряде объектов Московской, Тульской и Ленинградской областей свидетельствует о том, что зоны устойчивого загрязнения грунтовых вод могут формироваться на расстоянии от 50 до 300 м от границ полигона при наличии проницаемых грунтов и высоком уровне подземных вод [4].

Пути миграции фильтрата определяются гидрогеологическими условиями территории, гранулометрическим составом грунтов, мощностью водоупорных слоев, глубиной ложа полигона и особенностями рекультивационного покрытия. В условиях песчаных и супесчаных отложений фильтрат распространяется преимущественно вертикально с последующим выходом на первый водоносный горизонт. В суглинках и глинах преобладает боковая миграция по трещиноватым зонам и линзовым включениям пород [10].

В процессе миграции загрязняющих веществ ключевую роль играет кислотность фильтрата, которая влияет на подвижность металлов и органических соединений. При повышенной кислотности усиливается

выщелачивание тяжёлых металлов, что способствует формированию более токсичных форм загрязнения грунтовых вод. При щелочных значениях pH увеличивается растворимость аммиака, нитратов и ряда органических соединений [5].

Особое значение имеют процессы взаимодействия жидкой и газовой фаз. Выделение свалочного газа способно изменять направление движения фильтрата, увеличивать пористость и трещиноватость массива, а также способствовать конвективному переносу летучих и полулетучих органических веществ, что усиливает их способность к горизонтальной миграции [6, 7]. Эти механизмы особенно ярко проявляются на полигонах, где отсутствуют эффективные системы гидроизоляции или где нарушена герметичность основания вследствие проседания массива отходов.

Взаимодействие процессов дегазации и миграции загрязняющих веществ является определяющим фактором формирования экологических рисков на поздних стадиях жизненного цикла полигонов ТКО. Несмотря на то, что свалочный газ и фильтрат традиционно рассматриваются как две относительно независимые среды, многочисленные исследования демонстрируют их функциональную взаимосвязь, основанную на изменении физико-химического состояния массива отходов, перераспределении давления и трансформации структурных свойств грунтов и отходов [1, 6, 7].

Одним из ключевых механизмов взаимодействия является влияние избыточного газового давления на формирование путей миграции жидкой фазы. Согласно данным инженерно-экологических обследований российских полигонов, повышение парциального давления метана и углекислого газа в теле объекта приводит к развитию вертикальных и горизонтальных трещин, формированию макропор и локальных зон разуплотнения, выполняющих роль каналов для перемещения фильтрата [8, 9]. Это приводит к ускорению фильтрационных процессов, снижению эффективности рекультивационных экранов и повышению вероятности выхода загрязняющих веществ в подземные воды.

Вторым важным фактором является газовая конвекция. Летучие и полулетучие органические вещества, образующиеся в ходе анаэробного разложения отходов, способны переходить из жидкой фазы в газовую и обратно в зависимости от температуры, давления и степени насыщения порового пространства. Конвективное движение газа может усиливать горизонтальный перенос загрязнителей, особенно ЛОС и растворимых форм тяжёлых металлов, что повышает радиус распространения загрязнения за пределы тела полигона [7, 10].

Немаловажным аспектом является влияние дегазации на геохимические параметры среды. Газообразование сопровождается изменением pH, окислительно-восстановительного потенциала и температуры массива отходов. Понижение pH, характерное для анаэробных условий, способствует повышенной растворимости железа, марганца и некоторых тяжёлых металлов, что увеличивает их подвижность и способность к вертикальной миграции [5]. Одновременно процессы окисления, возникающие в верхних слоях полигона при

выходе газа на поверхность, могут приводить к образованию вторичных токсичных соединений, включая нитраты, сульфаты и органические кислоты.

Таким образом, дегазация и миграция загрязняющих веществ образуют взаимосвязанную систему процессов, в которой изменение параметров газовой фазы неизбежно отражается на характере переноса жидких загрязнений, и наоборот. Учитывая длительность постэксплуатационного периода, комплексное изучение этих процессов необходимо для корректной оценки экологических рисков и разработки эффективных систем мониторинга.

Совместное воздействие процессов дегазации и миграции загрязняющих веществ формирует комплекс экологических последствий, затрагивающих атмосферный воздух, поверхностные и подземные воды, почвы и биоту. Наиболее значимым последствием дегазации является выброс метана – парникового газа с потенциалом глобального потепления, в 28 раз превышающим углекислый газ [3]. Неконтролируемый выход метана и сероводорода может приводить к ухудшению качества воздуха, формированию неприятных запахов и созданию потенциально взрывоопасных концентраций в подповерхностных слоях [1, 7].

Миграция фильтрата является основным фактором загрязнения грунтовых вод. Сформированные под воздействием фильтрата техногенные аномалии могут сохраняться десятилетиями, снижая качество водных ресурсов и представляя угрозу для водоснабжения населённых пунктов. Концентрации аммонийного азота, хлоридов и тяжёлых металлов в подземных водах ниже по направлению потока от полигона могут превышать предельно допустимые концентрации в 10-50 раз при отсутствии инженерных барьеров.

Совместное воздействие газовой и жидкой фаз увеличивает экологические риски вследствие:

- ускоренного горизонтального переноса ЛОС;
- повышенной подвижности токсичных металлов;
- нарушения целостности рекультивационного слоя и дренажных систем;
- увеличения вероятности вторичного загрязнения при разрушении газоотводных скважин [10].

Оценка экологических рисков рекультивированных полигонов ТКО должна основываться на комплексном подходе, включающем анализ концентраций загрязняющих веществ, моделирование потоков газа и фильтрата, а также вероятность воздействия на критические объекты окружающей среды. Наиболее распространёнными методами являются интегральная оценка риска по совокупности индексов опасности, геохимическое картирование, использование моделей загрязнения грунтовых вод и атмосферного воздуха [4].

### **Список литературы**

1. Семенов В.А. Вторичные материальные ресурсы в экономике замкнутого цикла / В.А. Семенов, Н.В. Пустокина // Экономика промышленности. – 2021. – №3. – С. 45-54.
2. Федеральный закон от 24.06.1998 № 89-ФЗ «Об отходах производства и потребления».



3. Бравичев А.И. Управление отходами производства и потребления: учебное пособие / А.И. Бравичев. – М.: ИНФРА-М, 2020. – 284 с.
4. Государственный доклад «О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2023 году». – М.: Минприроды России, 2024. – 548 с.
5. Бобылев С.Н. Экономика устойчивого развития / С.Н. Бобылев, Е.В. Хлобыстов. – М.: Юрайт, 2020. – 412 с.
6. Горшков В.Г. Экология и окружающая среда: учебник / В.Г. Горшков. – СПб.: Лань, 2019. – 416 с.
7. Мазуров А.К. Технологии переработки твердых коммунальных отходов: научное издание / А.К. Мазуров, О.М. Малыгина. – Екатеринбург: УрФУ, 2022. – 228 с.
8. Соловьева И.А. Развитие системы обращения с отходами в РФ: современные вызовы и перспективы / И.А. Соловьева // Вестник экологического развития. – 2022. – №2. – С. 12-22.
9. Делягин В.И. Экономика природопользования и охраны окружающей среды: учебное пособие / В.И. Делягин. – М.: Юрайт, 2021. – 350 с.
10. Гурьев А.П. Экологический мониторинг: учебник / А.П. Гурьев, А.В. Смагин. – М.: КноРус, 2021. – 300 с.

## **СТРУКТУРА И МЕТОДЫ ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ ПОЛЕЙ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ ПРОМЫШЛЕННО РАЗВИТЫХ ТЕРРИТОРИЙ**

В.М. Панарин, Е.М. Рылеева, У.А. Макерина, А.И. Горелкина  
Тульский государственный университет,  
г. Тула

**Аннотация.** Статья описывает комплексный подход к созданию современных систем мониторинга загрязнения поверхностных вод, адаптируя концепции, разработанные для контроля атмосферного воздуха. Рассмотрена углубленная структура такой системы, включающая многоуровневый комплекс наблюдений (аэрокосмический, наземный, надводный, подводный с гидрохимическим, гидробиологическим и гидрологическим мониторингом), специализированную техническую и информационную базу, математические модели для прогнозирования полей загрязнения с учетом гидродинамики.

Основу современных систем мониторинга загрязнения поверхностных вод составляют многоуровневые наблюдения, интеграция разнородных данных и сложное математическое моделирование. Концепция таких систем разработана для атмосферного воздуха и может быть адаптирована для водных объектов.

Концепция таких комплексных, интегрированных и прогностических систем была изначально разработана и эффективно зарекомендовала себя в сфере мониторинга атмосферного воздуха. Базовые принципы мониторинга флюидных сред, методы сбора и анализа больших данных, а также подходы к математическому моделированию распространения примесей имеют общие

корни. Однако, для успешного переноса этой методологии на водные экосистемы требуется тщательная адаптация, учитывающая специфические гидродинамические особенности (течения, турбулентность, взаимодействие с дном), уникальные химические и биологические процессы, характерные для водной среды, а также особенности источников и путей распространения водных загрязнителей. Такой системный, интегрированный и прогностический подход является ключом к созданию по-настоящему эффективных инструментов для оценки, прогнозирования и управления качеством поверхностных вод.

Адаптированная для водных объектов структура системы включает несколько взаимосвязанных блоков (табл.1).

Таблица 1

Основные структурные компоненты системы

Структурный блок	Содержание и функции	Особенности для водных объектов
Многоуровневый комплекс наблюдений	Сбор данных с различных уровней: аэрокосмического, наземного (берегового), надводного, подводного.	Для вод включает гидрохимический, гидробиологический, гидрологический мониторинг и мониторинг донных отложений.
Техническая и информационная основа	Средства измерения, передачи, хранения и обработки данных (датчики, ГИС, базы данных).	Требует приборов для измерения специфичных для воды параметров (мутность, БПК, содержание тяжелых металлов и др.).
Математические модели и аналитические модули	Модели для построения и прогноза полей загрязнения, анализа данных.	Используются гидродинамические модели, учитывающие течение, турбулентность, процессы трансформации и седиментации загрязняющих веществ.
Интерфейс принятия решений	Визуализация (карты, графики), формирование сценариев для управления.	Направлен на задачи управления водным хозяйством и ликвидации последствий аварийных сбросов.

Представленная структурная организация системы мониторинга загрязнения поверхностных вод обеспечивает всеобъемлющий и системный подход к оценке и прогнозированию состояния водных объектов. Она интегрирует многоуровневый сбор данных, специализированную техническую инфраструктуру, сложное математическое моделирование с учетом гидродинамических процессов, и ориентированный на пользователя интерфейс для поддержки принятия решений. Эта адаптированная для водных объектов структура является фундаментом для построения эффективной, прогностической и управляемой системы, способной решать задачи как

текущего мониторинга, так и оперативного реагирования на кризисные ситуации в водном хозяйстве.

Реализация системы опирается на комплекс методов:

1. Методы измерений и сбора данных: используются как контактные (автоматизированные посты, отбор проб), так и дистанционные (спутниковый мониторинг цвета воды, теплового загрязнения, нефтяных пленок). Для рационального размещения постов применяются методы оптимизации, аналогичные методам для атмосферы.

2. Методы интеграции и анализа информации: ключевая технология – управляемое хранилище данных, которое объединяет разрозненные потоки информации в единое поле. Для анализа применяются методы Data Mining, кластерный анализ и искусственный интеллект.

3. Методы моделирования и построения полей загрязнения (на основе данных измерений и математических моделей формируются пространственно-временные распределения концентраций загрязняющих веществ. Для водных объектов критически важно моделирование процессов переноса веществ течением, их взаимодействия с донными отложениями и биотой).

При разработке системы необходимо учитывать следующие практические аспекты:

1. Системный подход к водосбору (мониторинг должен охватывать не только сам водный объект, но и территорию водосбора, включая источники загрязнения (промышленные, сельскохозяйственные, коммунальные предприятия)).

2. Паспортизация источников (важно вести детальный учет всех источников сбросов, их мощности и состава стоков).

3. Экономическая эффективность (система требует значительных инвестиций, поэтому важен обоснованный выбор ключевых контролируемых показателей для минимизации затрат).

Система представляет собой замкнутый цикл от сбора данных до управленческих решений. Её ядро – цифровая платформа (Data Platform), интегрирующая все компоненты. Углубленная структура ИИС для водных объектов представляет собой динамичную, адаптивную и интеллектуальную экосистему, где цифровая платформа выступает центральным нервным узлом, обеспечивающим синергию всех компонентов для комплексного управления водными ресурсами.

1. Методы измерений и сбора данных. Дистанционное зондирование (ДЗ), спутниковые данные (используются мульти- и гиперспектральные снимки).

По спектральным характеристикам определяются:

- Концентрация хлорофилла-а (цветение, эвтрофикация).
- Общее взвешенное вещество (мутность).
- Показатели цветности, наличие нефтяных пленок (по гладкости).

2. Беспилотные летательные аппараты (БПЛА) оснащаются гиперспектральными камерами, лидарами, газоанализаторами. Применяются для оперативного мониторинга:

- Зон аварийных сбросов.

- Недоступных участков (болота, промышленные пруды-отстойники).
- Точечных источников (выпуски сточных вод).

3. Автоматические станции и датчики устанавливаются на берегу, буях, понтонах. Измеряют в режиме реального времени физико-химические параметры: рН, электропроводность, температура, растворенный кислород, окислительно-восстановительный потенциал (Eh).

Химические параметры: Концентрация ионов ( $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{Cl}^-$ , тяжелые металлы) с использованием ион-селективных электродов или оптических сенсоров.

4. Мобильные лаборатории и роботизированные комплексы – автоматические зонды (например, типа CTD) или катера-роботы, которые по заданному маршруту отбирают пробы и проводят первичный анализ.

5. Лабораторный анализ (эталонный метод) – отобранные пробы анализируются аккредитованной лабораторией с помощью:

- Атомно-абсорбционной спектроскопии (тяжелые металлы).
- Газовой и жидкостной хроматографии (нефтепродукты, пестициды, ПАУ).
- Методов титрования и спектрофотометрии (БПК, ХПК, азот аммонийный).

Таблица 2  
Сравнение методов сбора данных

Метод	Преимущества	Недостатки	Роль в системе
Спутниковый мониторинг	Большой охват, периодичность, история архивных данных.	Зависимость от погоды, не все параметры, ограниченное пространственное разрешение.	Скрининг больших акваторий, выявление крупных аномалий.
БПЛА	Высокое разрешение, оперативность, гибкость.	Ограниченная зона покрытия за один вылет, зависимость от погоды.	Детальный мониторинг точечных источников и ЧС.
Автоматические станции	Данные в реальном времени, непрерывность, минимальное вмешательство человека.	Высокая стоимость, необходимость обслуживания, ограниченный набор измеряемых параметров.	Фондовый мониторинг, отслеживание динамики в ключевых точках.
Лабораторный анализ	Высокая точность и чувствительность, широкий перечень определяемых веществ.	Задержка в получении результатов, высокая стоимость анализа.	Верификация данных, калибровка датчиков, получение эталонных значений.

Управляемое хранилище данных – это гибридная архитектура для хранения как структурированных (результаты анализов), так и неструктурированных (спутниковые снимки) данных. Используются временные ряды и пространственные базы данных.

Методы пространственного анализа (ГИС) – интерполяция данных с точек наблюдения на всю акваторию с помощью методов кригинга или обратно-взвешенных расстояний для построения непрерывных полей загрязнения.

Математическое моделирование включает:

- Гидродинамические модели (основа) рассчитывают поле скоростей течений, уровней воды, температуру.

- Модели качества воды и транспорта веществ подключаются к гидродинамическим. Описывают процессы трансформации (кинетика биохимического окисления, нитрификации, взаимодействия с донными отложениями (седиментация, резорбция); распространения (конвективный перенос течением + турбулентная диффузия).

- Сценарное моделирование – расчет последствий аварийного сброса, оптимизация мест размещения новых водозаборов или сбросов.

Визуальная аналитика (Веб-ГИС панели, например, на базе ArcGIS Online или QGIS Cloud) с интерактивными картами, графиками, возможностью наложения слоев (источники загрязнения, поля концентраций, живая застройка).

Система раннего предупреждения – автоматические оповещения (SMS, email) при превышении пороговых значений.

Модуль отчетности – автоматическое формирование регламентированных отчетов (суточных, годовых) для контролирующих органов.

Рассмотренная общая архитектура и методологический базис информационно-измерительных систем (ИИС) мониторинга представляют собой технологический каркас, универсальные принципы которого – многоуровневость, конвергенция методов, централизованная аналитика – применимы для широкого спектра задач. Однако их практическая реализация и эффективность неразрывно связаны с конкретными условиями объекта наблюдения. Когда таким объектом становятся водные системы в границах промышленно развитых территорий, теоретическая модель сталкивается с комплексом специфических вызовов, которые не просто дополняют, а кардинально трансформируют требования к структуре, функционалу и приоритетам ИИС.

Ключевое отличие заключается в самой природе загрязнения. Если в фоновых условиях основное внимание уделяется отслеживанию естественной изменчивости и региональному переносу веществ, то в промышленных узлах мониторинг должен решать принципиально иную задачу: дискриминацию и количественную оценку множественных, часто точечных и переменных во времени антропогенных нагрузок на фоне их взаимного влияния и сложного взаимодействия с водной средой. Это определяет следующие императивы:

1. Привязка к источникам и зонам влияния. Структура сети наблюдений перестает быть равномерной или привязанной только к гидрографической сети. Она должна точно и плотно концентрироваться в зонах непосредственного воздействия (выпуски сточных вод, ливневые коллекторы, акватории портов, участки ниже по течению от промышленных площадок), а также вдоль основных путей миграции загрязняющих веществ. Каждый значимый источник требует своего «контрольного периметра».

2. Расширение целевого списка контролируемых веществ и параметров. Помимо основных гидрохимических показателей, система обязана быть настроена на приоритетные для данной территории специфические загрязнители: ионы тяжелых металлов (Cu, Zn, Ni, Cr, Cd, Pb), цианиды, фенолы, специфические органические соединения (нефтепродукты, СПАВ, пестициды), а также параметры, характеризующие токсикологический эффект (биотестирование).

3. Повышенные требования к оперативности и частоте контроля. Ритмичность или аварийность технологических процессов на предприятиях создает риск залповых сбросов. Это требует внедрения в структуру ИИС подсистемы оперативного предупреждения на базе датчиков непрерывного действия и экспресс-методов, способных зафиксировать критическое изменение в режиме, близком к реальному времени.

4. Необходимость атрибуции ответственности. Данные ИИС должны не только констатировать факт загрязнения, но и предоставлять информацию, позволяющую идентифицировать или статистически обоснованно связать его с конкретным источником. Это требует интеграции данных мониторинга водных объектов с информацией о режиме работы предприятий, составе их сточных вод и метеорологических условиях, влияющих на рассеивание.

Таким образом, особенности промышленно развитых территорий выступают в роли внешнего проектного ограничения и одновременно технического задания для ИИС. Они заставляют смещать акцент с общей оценки состояния вод на адресный, высокочастотный, аналитически насыщенный контроль, превращая систему из инструмента наблюдения в элемент системы экологической безопасности промышленного узла.

Совершенствование структуры и методов информационно-измерительных систем мониторинга поверхностных вод является критически важным условием для перехода от реактивной к превентивной экологической политике на промышленно развитых территориях. Только на основе целостной, точной и оперативной информации, предоставляемой такой ИИС, возможна объективная оценка экологического ущерба, эффективный контроль за соблюдением нормативов, обоснованное планирование природоохранных мероприятий и, в конечном счете, обеспечение экологической безопасности и устойчивого развития регионов.

### **Список литературы**

1. *Водный кодекс Российской Федерации. Федеральный закон от 03.06.2006 № 74-ФЗ (в ред. от 2024 г.)*
2. Орлов Д.С. *Экология и охрана гидросферы при химическом загрязнении* / Д.С. Орлов, Л.К. Садовникова, И.Н. Лозановская. – М.: Высшая школа, 2012.
3. Захарова И.С. *Комплексная оценка антропогенной нагрузки на малые реки промышленного узла* / И.С. Захарова, А.В. Петров // Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление. – 2023. – № 5. – С. 78-95.
4. . Вострикова М.А., Шкода В.В. *Основные виды загрязнений водных объектов: статья, опубликованная в журнале «Инновационная наука» (2016).*

# ГИДРОДИНАМИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ КАК ЯДРО ПРОГНОЗНЫХ ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ МОНИТОРИНГА ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОД ПРОМЫШЛЕННЫХ ТЕРРИТОРИЙ

В.М. Панарин, Е.М. Рылеева, У.А. Макерина, А.И. Горелкина  
Тульский государственный университет,  
г. Тула

***Аннотация.** В статье рассматриваются методы гидродинамического моделирования в структуре современных информационно-измерительных систем (ИИС) мониторинга качества поверхностных вод на промышленно развитых территориях. Детально анализируются физико-математические основы моделирования течений на основе уравнений мелкой воды, методы их численной реализации, а также подходы к интеграции модулей переноса и трансформации загрязняющих веществ.*

Поверхностные водные объекты в регионах с высокой концентрацией промышленности подвержены значительной антропогенной нагрузке. Традиционные системы мониторинга, основанные на точечных замерах, не способны обеспечить непрерывную пространственно-временную картину распределения (поля) загрязнения, необходимую для оперативного прогнозирования и принятия решений. Современным ответом на этот вызов является создание комплексных информационно-измерительных систем (ИИС), центральным звеном которых становятся математические модели, и в первую очередь — гидродинамические модели.

Гидродинамическое моделирование переводит систему из режима констатации фактов в режим прогноза и управления. Оно позволяет интегрировать данные мониторинга (дистанционного и контактного), рассчитать поля скоростей течений, уровней воды, температуры, а на этой основе — смоделировать процессы переноса, трансформации и накопления широкого спектра загрязняющих веществ. Целью данной статьи является глубокий анализ методологических основ, численных методов и практических аспектов реализации гидродинамического моделирования в составе ИИС для промышленных территорий.

Основой для моделирования подавляющего большинства поверхностных водных объектов (рек, водохранилищ, озер, прибрежных зон) служат уравнения Сен-Венана в приближении мелкой воды. Данное приближение справедливо, когда горизонтальные масштабы течения значительно превышают вертикальные. Уравнения выводятся путем интегрирования трехмерных уравнений Рейнольдса (Навье-Стокса) по глубине с учетом граничных условий на поверхности и дне.

Использование уравнения Сен-Венана позволяет значительно снизить вычислительную сложность моделирования по сравнению с полноценными трехмерными моделями Навье-Стокса, сохраняя при этом адекватную точность для большинства задач мониторинга и прогнозирования в поверхностных водах, где вертикальная структура течения не является определяющей.

Система уравнений включает закон сохранения массы (уравнение неразрывности) и законы сохранения импульса (уравнения движения).

Уравнение неразрывности:

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial(hu)}{\partial x} + \frac{\partial(hv)}{\partial y} = Q$$

где ( h ) – глубина потока,

( u, v ) – компоненты вектора горизонтальной скорости по осям ( x ) и ( y ) соответственно,

( t ) – время,

( Q ) – источник/сток массы (осадки, испарение, боковой приток).

Уравнение движения:

$$\frac{\partial(hu)}{\partial t} + \frac{\partial(hu^2 + \frac{1}{2}gh^2)}{\partial x} + \frac{\partial(huv)}{\partial y} = -gh \frac{\partial Z_b}{\partial x} + f_c hv + \frac{\tau_{sx}}{\rho} - \frac{\tau_{bx}}{\rho} + F_x^{visc}$$

$$\frac{\partial(hv)}{\partial t} + \frac{\partial(huv)}{\partial x} + \frac{\partial(hv^2 + \frac{1}{2}gh^2)}{\partial y} = -gh \frac{\partial Z_b}{\partial y} + f_c hu + \frac{\tau_{sy}}{\rho} - \frac{\tau_{by}}{\rho} + F_y^{visc}$$

Физическая интерпретация членов уравнений представлена в Таблице.

Физическая интерпретация членов уравнений движения мелкой воды

Член уравнения	Физический смысл	Практическая значимость для моделирования
Локальное и конвективное ускорение (левая часть)	Изменение импульса во времени и пространстве.	Определяет инерционные эффекты, динамику паводковых и приливных волн.
Градиент давления ( $-gh \partial Z_b / \partial x$ )	Сила, обусловленная наклоном свободной поверхности и дна.	Основная движущая сила течения в реках. Требуется точная батиметрия.
Сила Кориолиса ( $f_c h v$ )	Влияние вращения Земли.	Существенно для крупных водоемов (масштаб > 10-20 км).
Касательное напряжение ветра ( $\tau_{sx}/\rho$ )	Ветровое воздействие на поверхность воды.	Критически важно для моделирования сгонно-нагонных явлений, дрейфовых течений, волнения.
Донное трение ( $\tau_{bx}/\rho$ )	Соппротивление, создаваемое шероховатостью дна и берегов.	Ключевой калибруемый параметр (коэффициент Маннинга n или Шези C). Формирует профиль скорости.
Вязкостные члены ( $F^{visc}$ )	Турбулентный обмен импульсом.	Моделирует горизонтальное перемешивание. Часто параметризуется через подход Смолуховского.

Для замыкания и решения системы дифференциальных уравнений в частных производных необходимо задание граничных и начальных условий.



Граничные условия: на входной границе (верхний створ) обычно задается *гидрограф* – зависимость расхода воды от времени  $Q(t)$ . На выходной границе (нижний створ) может задаваться либо зависимость «уровень-расход»  $H-Q$ , либо уровень воды (для приливных зон – гармонические составляющие). На боковых границах учитывается рассредоточенный приток, на свободной поверхности – поле ветра и атмосферного давления.

Начальные условия: задается поле глубин  $h(x,y)$  и, как правило, нулевые поля скоростей  $u(x,y)$ ,  $v(x,y)$ . Для установления квазистационарного состояния часто выполняется «холодный старт» модели.

Как правило, применяются два основных подхода к построению расчетной сетки:

1. Структурированные сетки (метод конечных разностей). Область разбивается на прямоугольные или криволинейные ячейки. Преимущества: вычислительная эффективность. Недостаток: сложность аппроксимации сложной береговой линии.

2. Неструктурированные сетки (метод конечных объемов/элементов). Область покрывается треугольными (2D) или тетраэдральными (3D) ячейками. Это современный стандарт. Позволяет точно описывать сложную геометрию и локально сгущать сетку в зонах интереса (выпуски, гидротехнические сооружения) без избыточного увеличения общего числа ячеек.

Уравнения решаются методом конечных объемов с явной или неявной схемой интегрирования по времени. Шаг по времени выбирается из условия устойчивости Куранта-Фридрихса-Леви. Для решения связанной системы уравнений часто используется метод дробных шагов, разделяющий решение уравнений движения и коррекцию поля скоростей по условию неразрывности.

Рассчитанные гидродинамическим модулем поля  $u$ ,  $v$ ,  $h$  служат входными данными для модуля качества воды. Процесс переноса и трансформации пассивной или активной примеси с концентрацией  $C$  описывается адвективно-диффузионным уравнением:

$$\frac{\partial(hC)}{\partial t} + \frac{\partial(huC)}{\partial x} + \frac{\partial(hvC)}{\partial y} = \frac{\partial}{\partial x} \left( hD_x \frac{\partial C}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( hD_y \frac{\partial C}{\partial y} \right) + h \cdot \sum S_i(C)$$

где:

Адвективные члены  $(\partial(huC)/\partial x)$  описывают перенос примеси потоком. Их численная аппроксимация – нетривиальная задача, требующая применения схем высокого порядка для минимизации численной диффузии.

Диффузионные члены  $(\partial/\partial x(hD\partial C/\partial x))$  моделируют турбулентное перемешивание и дисперсию.

Источниковый член  $\sum S_i(C)$  описывает кинетику внутренних процессов трансформации. Доверие к результатам моделирования возможно только после тщательной процедуры калибровки и верификации.

Калибровка – настройка неопределенных параметров модели (шероховатость дна ( $n$ ), коэффициенты турбулентной диффузии) для

достижения наилучшего совпадения с натурными данными на определенном временном интервале. Используются данные об уровнях воды, скоростях течения (в т.ч. от акустических доплеровских профилографов), трассерах.

Верификация – проверка откалиброванной модели на независимом наборе данных (например, для другого гидрологического сезона). Качество оценивается по статистическим метрикам: коэффициент детерминации ( $R^2$ ), нормализованная среднеквадратическая ошибка, коэффициент Нэша-Сатклиффа.

В рамках ИИС гидродинамическая модель функционирует как цифровое ядро для анализа «что, если?»:

1. Прогноз последствий аварийных сбросов. При поступлении сигнала о выбросе (например, цианидов) модель в режиме, близком к реальному времени, рассчитывает траекторию и эволюцию загрязняющего облака, время подхода к водозаборным узлам, максимальные концентрации. Это основа для системы раннего предупреждения.

2. Оптимизация размещения и режима работы выпусков. Расчет зон смещения и разбавления сточных вод для обоснования нормативов допустимых сбросов (НДС) предприятий.

3. Оценка эффективности природоохранных мероприятий. Моделирование изменения фонового состояния водного объекта после реконструкции очистных сооружений или изменения технологии производства.

Для промышленных территорий эффективно использование каскада моделей: региональная (речная сеть) → локальная детализированная (зона влияния промплощадки, 3D) → модуль сорбции-трансформации специфических загрязнителей.

Гидродинамическое моделирование является не просто вспомогательным инструментом, а фундаментальным компонентом современной прогнозной ИИС мониторинга качества вод. Оно обеспечивает переход от дискретных данных измерений к целостному, физически обоснованному описанию состояния водного объекта в прошлом, настоящем и будущем.

Развитие вычислительных мощностей, методов численного моделирования и интеграции с ГИС и системами сбора данных в реальном времени открывает путь к созданию цифровых двойников рек и водоемов промышленных регионов. Такие двойники становятся ключевым элементом в системе поддержки принятия решений для экологического контроля, оперативного реагирования на аварии и устойчивого управления водными ресурсами в условиях возрастающей антропогенной нагрузки.

### **Список литературы**

1. Чарный Г.В. Введение в математические модели гидродинамики / Г.В. Чарный. – М.-Ижевск: Институт компьютерных исследований, 2010.
2. Deltares. Delft3D-FLOW: Simulation of multi-dimensional hydrodynamic flows and transport phenomena, including sediments. User Manual. – 2021.
3. Румянцев В.А. Математическое моделирование процессов в водных объектах / В.А. Румянцев, И.Н. Крыленко, М.В. Крыленко. – СПб: РГТМУ, 2011.

# СИСТЕМНЫЕ ОГРАНИЧЕНИЯ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ ЛАБОРАТОРИЙ В УСЛОВИЯХ МОДЕРНИЗАЦИИ РОССИЙСКОГО МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОГО КОМПЛЕКСА

Е.М. Рылеева, К.А. Поздняков, А.А. Гусак  
Тульский государственный университет,  
г. Тула

***Аннотация.** В статье рассматривается роль промышленных лабораторий в российском машиностроении, их ключевые функции и существующие системные ограничения, включая износ оборудования, кадровый дефицит, зависимость от импорта и нормативные коллизии. Предлагаются стратегические направления развития лабораторий, включая создание центров коллективного пользования, а также автоматизацию и цифровое сопровождение процессов.*

В структуре высокотехнологичных отраслей промышленности машиностроение выполняет роль системообразующего комплекса, от уровня развития которого зависят конкурентоспособность и безопасность государства. В условиях глобальной технологической конкуренции и санкционного давления обеспечение устойчивого развития отечественного машиностроения требует модернизации всей производственно-технологической цепочки. Промышленные лаборатории (ПЛ), выступающие интеллектуально-аналитическими ядрами предприятий, являются критически важным, но недостаточно изученным звеном в этой системе.

Проблематика качества в машиностроении широко освещена в трудах отечественных и зарубежных специалистов [3]. Однако большинство исследований фокусируются на общих принципах менеджмента качества (например, на соответствии стандартам ISO 9001) или на развитии конкретных методов контроля. Особенно мало исследований, посвященных адаптационным стратегиям самих ПЛ как сложных социотехнических систем в текущих геэкономических условиях, характеризующихся двойным давлением: необходимостью импортозамещения и ускорения инноваций.

Целью данной работы является многоаспектный анализ состояния, функций и перспектив развития промышленных лабораторий на российских предприятиях машиностроительной отрасли.

Архитектура и функции современной промышленной лаборатории: от контроля к компетенциям. На сегодняшний день промышленная лаборатория – это не единый объект, а диверсифицированная структура, интегрированная на всех этапах жизненного цикла продукции. Ее архитектуру можно представить через кластеры специализированных подразделений (Рис. 1).

Кластер обеспечения качества и безопасности. Данный блок является основополагающим и включает:

- Металлографические и аналитические лаборатории. Проводят входной контроль сырья (химический состав, структура сплава) и операционный контроль на этапах термообработки, литья, сварки. Используемые методы: оптическая и электронная микроскопия, спектральный анализ.

- Лаборатории неразрушающего контроля (НК). Обеспечивают выявление скрытых дефектов в ответственных узлах. Наиболее распространены ультразвуковой, вихретоковый и капиллярный методы.
- Испытательные лаборатории. Проводят ресурсные, механические и климатические испытания опытных образцов и серийной продукции для подтверждения соответствия заявленным характеристикам.



Рис. 1. Распределение ключевых функций промышленной лаборатории в машиностроении

Кластер метрологии и стандартизации. Включает лабораторию контроля средств измерений (КСИ), которая обеспечивает единство измерений на предприятии, осуществляя периодическую поверку и калибровку всего парка измерительного оборудования – от механообработки до финального контроля. Этот кластер является «хранителем эталонов» и основой для юридической значимости всех данных, полученных в других лабораториях.

Кластер научно-технологического развития. Представлен лабораториями, выполняющими НИОКР-функции: разработка новых материалов (композиты, порошковые сплавы), аддитивных технологий, создание прототипов. Их работа направлена на создание продуктов с повышенной добавочной стоимостью. Именно здесь формируется задел для будущей конкурентоспособности.

Кластер подготовки кадров и экспертизы. ПЛ служит полигоном для адаптации молодых специалистов и стажировки студентов. Аккредитованные ПЛ выступают в роли независимых экспертных центров, чьи заключения имеют юридическую силу.

Диагностика системного кризиса: классификация проблем. Несмотря на критическую важность, потенциал ПЛ в России сдерживается комплексом взаимосвязанных проблем, носящих системный характер (Таблица).

Кумулятивный эффект этих проблем приводит к ослаблению инновационного иммунитета отрасли: снижается способность не только создавать прорывные продукты, но и достоверно оценивать качество и безопасность существующих, что является прямой угрозой технологическому суверенитету.

### Классификация ключевых проблем промышленных лабораторий

Категория проблемы	Конкретные проявления	Прямые последствия
Технологическая отсталость	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Износ основных фондов на 65-70%.</li> <li>• Преобладание оборудования 1980-90-х гг.</li> <li>• Зависимость от импорта расходников и ПО.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Низкая производительность и точность.</li> <li>• «Слепые зоны» в контроле качества.</li> <li>• Риск остановки из-за отсутствия запчастей.</li> </ul>
Кадровый кризис	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Демографический разрыв: до 70% персонала старше 50 лет.</li> <li>• Утечка компетенций в смежные сферы (ИТ, ТЭК).</li> <li>• Разрыв между вузовской подготовкой и практикой.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Потеря уникальных ноу-хау.</li> <li>• Замедление внедрения новых методов.</li> <li>• Риск ошибок из-за неопытности.</li> </ul>
Нормативно-правовые барьеры	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Действие устаревших ГОСТ (20-50 лет).</li> <li>• Конфликт между национальными и международными (ISO, ASME) стандартами.</li> <li>• Сложность и длительность процедур аккредитации.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Торможение выхода на глобальные рынки.</li> <li>• Юридические риски при сертификации.</li> <li>• Дополнительные административные издержки.</li> </ul>
Ограничения финансирования	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Высокая стоимость современного оборудования.</li> <li>• Отсутствие долгосрочных льготных кредитов для модернизации ПЛ.</li> <li>• Фрагментарность государственных субсидий.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Консервация технологического отставания.</li> <li>• Невозможность быстрого ответа на новые вызовы.</li> </ul>

Контур новой парадигмы: стратегии трансформации. Ответом на накопленные вызовы становятся новые организационные и технологические модели, формирующие контуры будущего лабораторного комплекса. Для малых и средних предприятий экономически нецелесообразно создавать полный спектр лабораторных компетенций. Решением становится создание ЦКП (Центров коллективного пользования) на базе крупных предприятий, вузов (например, НИТУ «МИСиС», ЮУрГУ) или отраслевых институтов. Эта модель, успешно апробированная в рамках программы «Исследования и разработки» Минобрнауки, позволяет не только консолидировать дорогостоящее оборудование, но и создать точки кристаллизации для междисциплинарных команд и трансфера технологий.

Цифровая трансформация как основа эффективности. Внедрение Laboratory Information Management System (LIMS) становится основой для преодоления «ручного» управления данными. Это минимизирует человеческий фактор, повышает скорость и прослеживаемость результатов. Следующий шаг – интеграция данных ПЛ в общую цифровую модель предприятия (Digital Twin), что позволяет проводить виртуальные испытания и оптимизировать конструкции на ранних этапах, сокращая цикл НИОКР.

Стратегическое кадровое планирование. Требуется переход от реактивного закрытия вакансий к проактивному формированию кадрового резерва. Ключевые меры: создание базовых кафедр и учебных лабораторий на предприятиях, внедрение системы наставничества с цифровым фиксированием знаний (создание «базы знаний»), разработка программ микрокредитования на дополнительное образование для сотрудников ПЛ.

Гибридация нормативной базы. Необходима активная работа по гармонизации национальных стандартов (ГОСТ) с международными (ISO), но не через прямое копирование, а через адаптацию с учетом специфики российской промышленности и задач импортозамещения. Это откроет путь для отечественной продукции на внешние рынки и повысит доверие к ней внутри страны.

Интеграция инновационных форматов: кейс автономных плавающих лабораторий (АПЛ). Внедрение мобильных и автономных лабораторных комплексов представляет собой качественный скачок в развитии лабораторной инфраструктуры. В контексте развития машиностроительных регионов, таких как Тульская область, с ее сетью рек и водохранилищ, особый интерес представляет интеграция автономных плавающих лабораторий (АПЛ). Это роботизированные или телеуправляемые платформы, оснащенные комплектом датчиков и аналитическим оборудованием.

Преимущества интеграции АПЛ в машиностроительный комплекс:

1. Расширение функционала для транспортного и тяжелого машиностроения: Мониторинг и диагностика гидротехнических сооружений (опор мостов, плотин), созданных с использованием продукции предприятий, а также долговременные натурные испытания новых материалов и узлов в реальных условиях.

2. Создание распределенных сетей экологического контроля: Предприятия могут использовать флотилии АПЛ для непрерывного автоматизированного мониторинга акватории вблизи своих площадок, минимизируя экологические риски и формируя объективную доказательную базу.

3. Оптимизация логистики сервиса: АПЛ могут выступать как мобильные диагностические пункты для удаленных объектов морской инфраструктуры.

Ключевые аспекты внедрения и синергия:

- Разделение труда: АПЛ – полевые сенсорные платформы для сбора данных. Углубленный анализ остается за стационарными ПЛ.

- Единая цифровая среда: Обязательная интеграция данных с АПЛ в корпоративную LIMS и цифровую платформу предприятия.

- Кадровое обеспечение: Формирование новых компетенций на стыке гидроакустики, робототехники и аналитической химии.

Риски внедрения включают высокую первоначальную стоимость, уязвимость к погодным условиям и несовершенство правового регулирования использования беспилотных судов.

Проведенный анализ позволяет сделать следующие выводы:

1. Промышленная лаборатория эволюционировала из сервисного подразделения контроля в стратегический центр компетенций, определяющий

качество, инновационность и, в конечном счете, конкурентоспособность машиностроительного предприятия.

2. Накопленный в России потенциал ПЛ нивелируется системными дисфункциями: технологическим отставанием, демографическим кризисом и институциональными барьерами. Это создает прямые риски для программы технологического суверенитета.

3. Преодоление кризиса невозможно путем точечной модернизации. Требуется системная трансформация, основанная на трех принципах: кооперация (модель ЦКП), сквозная цифровизация (LIMS, Digital Twin) и инвестиции в человеческий капитал.

4. Интеграция инновационных форматов, таких как автономные плавающие лаборатории (АПЛ), демонстрирует путь перехода от реактивного контроля к проактивному мониторингу и расширяет возможности исследовательской инфраструктуры, создавая новые конкурентные преимущества.

5. Перспективным направлением дальнейших исследований является сравнительный анализ экономической эффективности различных моделей кооперации (ЦКП), а также разработка типовых требований к интеграции данных от мобильных лабораторных комплексов (включая АПЛ) в общезаводские системы управления.

Таким образом, будущее промышленных лабораторий российского машиностроения лежит в плоскости их трансформации в открытые, цифровые и сетевые узлы технологических экосистем, где данные, компетенции и инфраструктура становятся общим ресурсом для обеспечения качества, безопасности и лидерства отрасли.

### Список литературы

1. ГОСТ Р ИСО/МЭК 17025-2019. Общие требования к компетентности испытательных и калибровочных лабораторий.
2. Стратегия развития машиностроительного комплекса Российской Федерации на период до 2030 года. Утв. Распоряжением Правительства РФ.
3. Петров К.А. Управление качеством в машиностроении: вызовы цифровой эпохи / К.А. Петров // Стандарты и качество. – 2021. – № 5. – С. 78-82.
4. Шнер В.Л. Бережливое производство в лаборатории: как устранить потери / В.Л. Шнер // Методы менеджмента качества. – 2020. – № 3. – С. 44-49.
5. McMahon C. et al. (2020). The Role of the Metrology Laboratory in Industry 4.0. *CIRP Annals*, 69(2), 741-764.
6. Rogov B.E. Центры коллективного пользования научным оборудованием: управление и развитие / В.Е. Рогов, А.С. Сигов // Инновации. – 2022. – № 3. – С. 56-63.
7. Иванова Л.М. Цифровая трансформация лабораторного хозяйства промышленного предприятия / Л.М. Иванова // Автоматизация в промышленности. – 2023. – № 1. – С. 32-38.
8. Белов П.Н. Беспилотные технологии для мониторинга окружающей среды и инфраструктуры / П.Н. Белов // Доклады Академии наук. – 2022. – Т. 507, № 1. – С. 112-118.



# РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ЗАМКНУТОГО ЦИКЛА НА ОСНОВЕ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ ОЧИСТКИ МНОГОКОМПОНЕНТНЫХ ГАЛЬВАНИЧЕСКИХ СТОКОВ

Е.М. Рылеева, Е.В. Сергеева  
Тульский государственный университет,  
г. Тула

***Аннотация.** В статье представлена комплексная ресурсосберегающая технология замкнутого водооборотного цикла для гальванических производств машиностроительной отрасли. Статья посвящена разработке и анализу автоматизированного устройства для очистки многокомпонентных сточных вод гальванического производства.*

Гальванические производства остаются неотъемлемой частью машиностроительного комплекса, обеспечивая нанесение защитных, износостойких и декоративных покрытий. Однако эти процессы сопровождаются образованием больших объемов высокотоксичных сточных вод сложного состава. Традиционная линейная модель водопользования «забор → использование → очистка → сброс» приводит к значительному потреблению пресной воды (до 50-100 м<sup>3</sup> на тонну изделий) и формированию токсичных жидких и твердых отходов, обезвреживание которых требует высоких затрат.

В условиях ужесточения экологического законодательства (внедрение принципов НДТ), роста тарифов на водопользование и дефицита водных ресурсов в промышленных регионах, переход к замкнутым (оборотным) системам водоснабжения становится стратегической необходимостью [1]. Основными техническими барьерами для этого являются:

**1. Многокомпонентность и изменчивость состава стоков**, включающих смеси ионов тяжелых металлов, цианид-комплексов, кислот, щелочей, ПАВ и органических добавок.

**2. Необходимость обеспечения стабильного высокого качества очищенной воды**, пригодной для возврата в точные промывные операции без ущерба для качества покрытий.

**3. Проблема накопления вторичных отходов** (шламов, концентратов), образующихся в процессе очистки.

Тяжелые металлы относятся к приоритетным загрязняющим веществам, наблюдения за которыми обязательны во всех средах. Источниками загрязнения поверхностных и подземных вод тяжелыми металлами служат сточные воды гальванических цехов, предприятий горнодобывающей, черной и цветной металлургии, машиностроительных заводов.

В настоящее время, в следствие нарушения структуры поверхностного слоя земной коры, одной из серьезных причин ухудшения состояния окружающей природной среды является мощное отрицательное антропогенное влияние на изменение санитарно-экологической обстановки в горно-промышленных регионах, поэтому рациональным является предотвращение проникновения загрязняющих веществ в подземные источники питьевого



водоснабжения со стоками машиностроительных, металлообрабатывающих, приборостроительных, ремонтных и других предприятий, широко применяющих гальванические покрытия. Современный уровень развития техники и технологии очистки сточных вод обеспечивает получение воды практически любой степени очистки. Все определяется стоимостью такой очистки. Если принять стоимость 90 %-ной очистки сточных вод за единицу, то очистка на 99 % обойдется примерно в 10 раз дороже, а очистка на 99,9 %, которая часто требуется для достижения ПДК, будет дороже в 100 раз. В результате локальная очистка сточных вод с целью их повторного использования в производстве в большинстве случаев оказывается значительно дешевле их полной очистки в соответствии с требованиями санитарных органов. Выбор технологической схемы очистки промывных кислото-щелочных, хромсодержащих и циансодержащих вод гальванического производства в первую очередь основывается на качественной и количественной характеристике сточных вод и зависит от технологии производства.

Каждый технологический процесс гальванического нанесения металлических покрытий состоит из ряда отдельных операций, которые условно можно разделить на 3 группы:

1. Подготовительные работы. Их цель – подготовка металла (его поверхности) для нанесения покрытия гальваническим путем. На этой стадии технологического процесса проводится шлифование, обезжиривание и травление.

2. Основной процесс, цель которого заключается в образовании соответствующего металлического покрытия с помощью гальванического метода.

3. Отделочные операции. Они применяются для облагораживания и защиты гальванических покрытий. Наиболее часто для этих целей применяют пассивирование, окраску, лакирование и полирование.

Исходя из химического состава электролитов, служащих источником образования сточных вод технологические операции делятся на 4 группы в соответствии с 4 видами сточных вод:

1. Операции, при которых образуются растворы или промывные воды, содержащие цианистые соединения: к ним относятся основные процессы электрохимического выделения металла из их цианистых, а также операции промывки после этих растворов.

2. Операции, при которых растворы или промывные воды содержат соединения хрома: к ним относятся процессы хромирования, хромистой пассивации и операции промывки после этих растворов.

3. Операции, при которых растворы и промывные воды не содержат упомянутых соединений: к ним относятся некоторые вспомогательные работы (обезжиривание, травление), основные процессы и отделочные работы.

4. Операции, при которых образуются растворы или промывные воды, содержащие ионы тяжелых металлов (в частности, ионы никеля и меди): к ним относятся основные процессы электрохимического выделения металла, а также операции промывки после этих растворов.

Первоочередная задача технологии нанесения гальванических покрытий связана с методами обезвреживания сточных вод. Совершенствование технологии, качества и надежности гальванических покрытий сопровождается возрастанием числа рецептур электролитов, обновлением их химического состава и свойств, что требует поиска новых эффективных методов очистки и обезвреживания сточных вод. Технологические сточные воды гальванических процессов отличаются: многокомпонентностью состава, фазовым состоянием и токсичностью соединений, соотношением и концентрацией гетерогенных и гомогенных составляющих, загрязняющими примесями. В зависимости от назначения воды в процессе производства степень загрязненности сточных вод различна, также как и различен характер содержащихся в ней примесей. В зависимости от загрязнения, сточные воды гальванического производства делятся на 4 группы: кислото-щелочные, цианосодержащие, хромосодержащие, содержащие соли тяжелых металлов. Классификация сточных вод гальванических цехов по химическому составу загрязнений представлена в таблице 1.

Таблица 1

Состав загрязнений промышленных стоков

Группа сточных вод	Основные технологические процессы образования сточных вод	Состав загрязнений	pH среды
1	2	3	4
Кислотно-щелочные: кислотные	Предварительное травление, кислотное меднение, никелирование, цинкование.	$H_2SO_4$ , $HCl$ , $HNO_3$ , $H_3PO_4$ и др.	<6,5
щелочные	Обезжиривание	$NaOH$ , $KOH$ , $Ca(OH)_2$ и др.	>8,5
Содержащие соли тяжелых металлов	Поверхностная металлообработка и нанесение гальванопокрытий	$Fe^{2+}$ , $Fe^{3+}$ , $Zn^{2+}$ , $Cd^{2+}$ , $Cu^{2+}$ , $Al^{3+}$ и др.	<6,5
Цианосодержащие	Цианистое меднение, цинкование, кадмирование, серебрение	$KCN$ , $NaCN$ , $CuCN$ , $Fe(CN)_2$ , $[Cu(CN)_2]^-$ , $[Cu(CN)_3]^{2-}$ , $[Cu(CN)_4]^{3-}$ , $[Zn(CN)_4]^{2-}$ , $[Fe(CN)_6]^{3-}$ и др.	2,8 -11,6
Хромосодержащие	Хромирование, пассивация, травление деталей из стали и медных сплавов, оцинкованных, кадмированных стальных деталей, электрохимическое анодирование деталей из алюминия, электрополирование стальных деталей	Соединения $Cr^{3+}$ , $Cr^{6+}$ , $Zn^{2+}$ , $Cu^{2+}$ , $Fe^{2+}$ , $Fe^{3+}$ и др.	2,3-8,8

На основе данных действующего гальванического цеха машиностроительного предприятия (линии цинкования, хромирования и никелирования) был определен усреднённый состав образующихся сточных вод, которые характеризуются как многофазные, многокомпонентные и концентрированные (табл. 2).

Таблица 2

Усредненный состав основных видов гальванических стоков

Параметр / Компонент	Кислые стоки (травление, никелирование)	Щелочные стоки (обезжиривание)	Хромсодержащие стоки
pH	2.5 – 4.5	10.5 – 12.5	2.5 – 3.5 (для Cr <sup>6+</sup> ) / 7.5 – 8.5 (для Cr <sup>3+</sup> )
Взвешенные вещества, мг/л	150 – 500	300 – 800	100 – 300
Ni <sup>2+</sup> , мг/л	15 – 50	< 1	< 5
Cu <sup>2+</sup> , мг/л	10 – 30	< 1	–
Zn <sup>2+</sup> , мг/л	20 – 70	< 1	–
Cr общий, мг/л	–	–	40 – 150 (в т.ч. Cr <sup>6+</sup> : 20-100)
Нефтепродукты, мг/л	< 10	50 – 200	< 5
Солесодержание, мг/л	2000 – 6000	1500 – 4000	1000 – 3500

Источниками гетерогенных загрязнений являются продукты очистки поверхности деталей до нанесения гальванопокрытия, осадкообразования в ходе процессов химического и электрохимического нанесения металлов и обезвреживания сточных вод. Гомогенная составляющая сточных вод включает растворимые примеси молекул неорганических и органических соединений в молекулярных и ионных растворах. К растворимым примесям относятся соединения циана, ионы тяжелых металлов, в частности хрома.

Методы очистки от гетерогенных нерастворимых примесей зависят от природы взаимодействия с растворителем и геометрических размеров частиц. Грубодисперсные частицы с размерами  $10^{-1} - 10^{-5}$  см (суспензии, эмульсии) под действием гравитационных сил тяжести постепенно самопроизвольно оседают или всплывают. Тонкодисперсные коллоидные частицы с размерами  $10^{-5} - 10^{-7}$  см могут находиться во взвешенном состоянии длительное время, значительно превышающее технологические возможности.

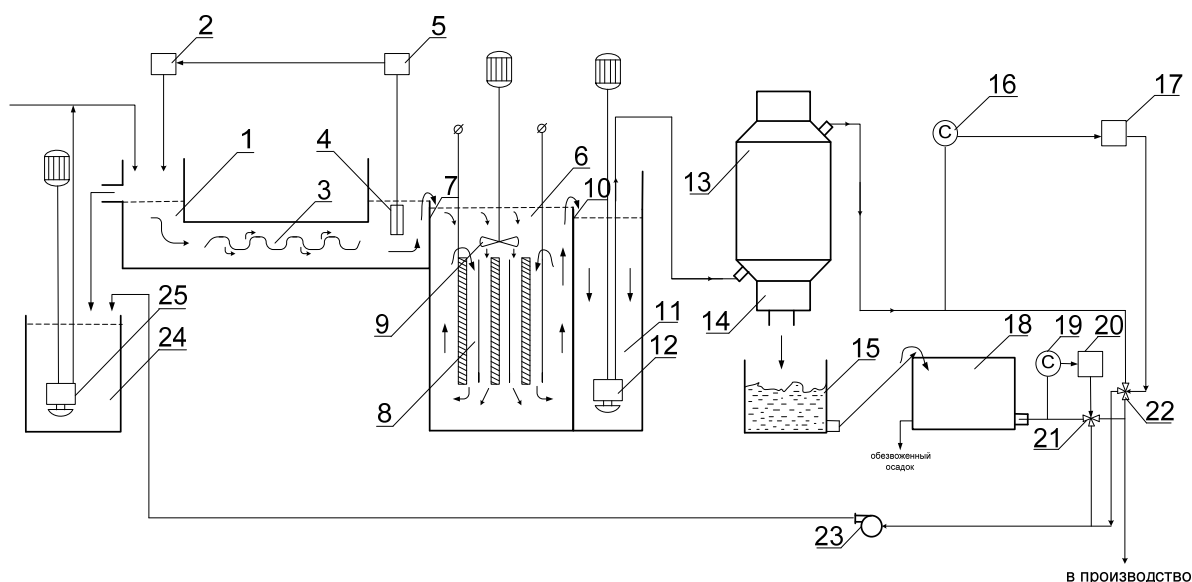
Проблема обеспечения высококачественной очистки сточных вод гальванического производства должна решаться путем упрощения технологической схемы, конструктивного оформления и эксплуатации водоочистных сооружений при одновременном повышении степени очистки, универсальности, надежности, а также экологической безопасности технологического процесса, возможности максимальной и даже полной автоматизации его.

Для достижения поставленной цели наиболее перспективным является замкнутая система водооборота гальванических производств. Поэтому

назначение очистных сооружений с замкнутой системой водооборота носит природоохранный характер – исключает сброс неочищенных стоков, а также снижает количество гальваношламов.

В результате проведенных исследований сбрасываемых сточных вод были разработаны технологические схемы очистки стоков для предприятий с гальваническим производством.

Для стоков с многокомпонентным ( $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{PO}_4^{3-}$ ,  $\text{Al}^{3+}$ ,  $\text{Cd}^{3+}$ ,  $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{Ni}^{2+}$ ,  $\text{Pb}^{2+}$ ,  $\text{Zn}^{2+}$ ,  $\text{Cr}^{3+}$ ), сложным для очистки до уровня норм ПДК рыбохозяйственного назначения составом предлагается патентная разработка [1] замкнутой системы водоочистки с 5%-ной подпиткой чистой водой. Принципиальная технологическая схема запатентованного нами устройства для очистки стоков приведена на рисунке.



Структурная схема установки очистки стоков многокомпонентного состава, где 1 – приемная камера, 2 – дозатор, 3 – статический смеситель, 4 – датчик, 5 – рН-метр, 6, 9 – элементы мешалки, 7 – переливная стенка 1, 8 – электрогальванокоагулятор, 10 – переливная стенка 2, 11 – камера, 12 – погружной насос, 13 – фильтр, 14 – выпускной патрубок, 15 – емкость для влажного осадка, 16 – измеритель концентрации солей тяжелых металлов, 17 – первый микропроцессорный контроллер, 18 – пресс-фильтр, 19 – измеритель концентрации, 20 – второй микропроцессорный контроллер, 21 – 1-ый регулирующий клапан, 22 – 2-ой регулирующий клапан, 23 – насос, 24 – резервуар-накопитель, 25 – насос.

Промывная вода от технологической установки и реагент соединяются в приемной камере 1 и пройдя через статический смеситель 3, оборудованный датчиком 4 рН-метра 5, измеряющим и регулирующим рН раствора посредством изменения подачи реагента через дозатор 2, поступает в электрокоагулятор 8. Образовавшаяся в коагуляторе пульпа попадает сначала в камеру 11, а затем в фильтр 13, где она освобождается от взвеси. Осадок из фильтра через устройство 14 выводится в приемную емкость для влажного осадка 15 и далее подается на пресс-фильтр 18.

Обработанная вода из фильтра контролируется измерителем концентрации примесей тяжелых металлов 16 и по командам первого микропроцессорного

контролера 17 через регулирующий клапан 22 возвращается в производство или поступает с помощью насоса 23 в резервуар-накопитель 24.

Вода из пресс-фильтра 18 контролируется измерителем концентрации 19 и по командам второго микропроцессорного контролера 20 через регулирующий клапан 21 также возвращается в производство или направляется на в резервуар-накопитель 24. Из резервуара-накопителя 24 некондиционная вода насосом 25 подаётся на повторный цикл очистки.

Вода, качественный и количественный состав которой соответствует заданным значениям сбрасывается в городскую канализацию или поверхностный водный источник.

Узел обработки влажного осадка обеспечивает удаление 98 % общего количества механически связанной воды и получение значительно меньшего объема твердых отходов.

Внедрение предлагаемых принципиальных технологических схем очистки сточных вод позволит сохранить продуктивную природную среду, повысить экологическую безопасность и эффективность работы сооружений и исключить антропогенное загрязнение поверхностных и подземных источников водоснабжения тяжелыми металлами промышленных стоков.

Проблемы устойчивости и экологической безопасности геологической среды горнопромышленных районов в условиях непрерывного роста комплексного влияния техногенных факторов (горная, металлургическая, химическая, аграрная и др. отрасли промышленности) в настоящее время находятся в центре внимания органов исполнительной власти, природоохранных ведомств и общественных организаций.

### **Список литературы**

*1. Стратегия научно-технологического развития Российской Федерации на период до 2030 года. Утверждена Указом Президента РФ от 1 декабря 2016 г. № 642.*

*2. Мешалкин В.П. Автоматизированное устройство для очистки промышленных стоков / В.П. Мешалкин, В.М. Панарин, Е.М. Рылеева, А.А. Горюнова, Т.А. Скоцова // Патент на изобретение 2653169 С1, 07.05.2018. Заявка № 2017111392 от 04.04.2017.*

*3. Соколов Э.М. Устройство для очистки промышленных стоков / Э.М. Соколов, В.М. Панарин, Н.Д. Левкин, В.П. Пашиков, Е.М. Бурзяева // Патент на изобретение 2278824 С1, 27.06.2006. Заявка № 2005105770/15 от 01.03.2005.*

# НЕРАСТВОРИМЫЕ ФОРМЫ СОЛЕЙ И ГИДРОКСИДОВ МЕТАЛЛОВ В ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЯХ – «ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ МИНА» ПРИ КОЛЕБАНИИ ФАКТОРОВ ВОДНОЙ СРЕДЫ

В.М. Панарин, Е.М. Рылеева, Е.А. Савина, К.С. Соловьева  
Тульский государственный университет,  
г. Тула

***Аннотация.** Статья предлагает комплексный анализ проблемы: от механизмов поступления и иммобилизации металлов до факторов их ремобилизации, экологических последствий, региональных примеров и стратегий управления рисками. Особое внимание уделяется биохимическим и физико-химическим процессам, определяющим поведение металлов в системе «вода–дно», а также современным подходам к мониторингу, моделированию и ремедиации.*

Донные отложения рек, озёр, водохранилищ и прибрежных морских зон представляют собой не просто инертный субстрат, а сложную многокомпонентную геохимическую систему, способную аккумулировать, трансформировать и высвобождать загрязняющие вещества. Особую экологическую опасность среди них представляют тяжёлые металлы – свинец, ртуть, кадмий, мышьяк, цинк, медь и другие. В стабильных физико-химических условиях эти элементы связываются в нерастворимые соединения, которые накапливаются в донных слоях, оставаясь относительно инертными. Однако при изменении параметров среды – таких как кислотность, окислительно-восстановительный потенциал, температура или гидродинамический режим – эти формы могут переходить в подвижные, биодоступные и высокотоксичные состояния. Именно поэтому долговременные накопления тяжёлых металлов в донных отложениях называют «экологической миной» – скрытой, но потенциально катастрофической угрозой, способной «детонировать» в результате естественных или антропогенных изменений.

На сегодняшний день тяжёлые металлы попадают в поверхностные водные объекты посредством сброса:

- Промышленных стоков (горнодобывающая, металлургическая, химическая промышленность и др.);
- Сельскохозяйственных стоков (удобрения, пестициды, мелиоративные воды);
- Атмосферных выпадений (пыль, аэрозоли, кислотные дожди);
- Бытовых и коммунальных сточных вод;
- Ливневых стоков с урбанизированных территорий.

В водной среде металлы взаимодействуют с взвешенными частицами и растворёнными веществами, формируя устойчивые соединения. Ключевые процессы иммобилизации включают:

1. Образование нерастворимых осадков в виде гидроксидов  $Pb(OH)_2$ ,  $Fe(OH)_3$ ; сульфидов  $PbS$ ,  $HgS$ ; карбонатов  $CdCO_3$ ,  $PbCO_3$ ; фосфатов  $Pb_5(PO_4)_3OH$ ;

## 2. Адсорбция на поверхности частиц:

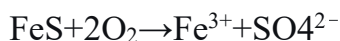
- Глинистые минералы (каолинит, монтмориллонит);
- Оксиды и гидроксиды железа и марганца ( $\text{FeOOH}$ ,  $\text{MnO}_2$ );
- Органическое вещество (гумус, детрит).

3. Комплексообразование с органическими лигандами (гуминовые и фульвокислоты образуют хелатные комплексы, например:  $[\text{Cu-Гумат}]$ , которые могут как иммобилизовывать, так и повышать подвижность металлов в зависимости от условий). Эти процессы приводят к седиментации металлов и их накоплению в донных отложениях, где они могут сохраняться десятилетиями и даже столетиями.

Термин «экологическая мина» метафорически отражает главную особенность донных отложений как долговременного хранилища токсикантов. В стабильных условиях металлы находятся в обездвиженном состоянии и не оказывают прямого токсического воздействия. Однако при изменении параметров среды происходит их трансформация в растворимые и биодоступные формы, что сопровождается резким выбросом токсинов в воду. Такой «взрыв» может быть спровоцирован как естественными процессами (изменение сезонных условий, паводки, штормы), так и антропогенными воздействиями (дноуглубительные работы, сброс кислотных стоков, строительство гидросооружений). Приведем основные факторы, активизирующие колебание условий среды:

1. Изменение pH (кислотность). Кислотное загрязнение воды – один из наиболее мощных факторов ремобилизации металлов. Подкисление ( $\text{pH} < 5$ ) приводит к растворению карбонатных и гидроксидных форм. Примером могут служить кислотные дожди в промышленных регионах; стоки угольных шахт, обогащённые серной кислотой; окисление сульфидных минералов в отвалах горных пород.

2. Изменение окислительно-восстановительного потенциала (Eh). Переход от аэробных к анаэробным условиям (например, в результате заиливания, затопления или эвтрофикации) приводит к восстановлению сульфатов сульфатредуцирующими бактериями и образованию сульфидов. Однако последующая аэрация (при перемешивании, обмелении) вызывает окисление сульфидов:



Особенно опасен процесс метилирования ртути в анаэробных условиях, осуществляемый бактериями рода *Desulfobulbus*. Метилртуть в десятки раз токсичнее неорганической ртути и легко накапливается в пищевых цепях.

3. Механическое воздействие. Любое физическое перемешивание донных отложений приводит к взмучиванию и контакту ранее изолированных слоёв с кислородом и водой. Источники могут быть дноуглубительные работы; строительство причалов, дамб, мостовых опор; судоходство (особенно на мелководье); рыболовные тралы.

4. Повышение температуры. Тепловое загрязнение от ТЭЦ, АЭС, промышленных предприятий ускоряет химические и биохимические реакции: увеличивается скорость растворения соединений; активизируется микробная

трансформация металлов; ускоряется деградация органического вещества, что может менять окислительно-восстановительные условия.

5. Биологическая активность (биотурбация). Донные организмы – полихеты, олигохеты, моллюски, личинки насекомых – постоянно перемешивают верхний слой осадков, создавая сеть ходов и камер. Это увеличивает площадь контакта отложений с водой; создаёт локальные микрозоны с разными значениями pH и Eh; способствует диффузии металлов в поровые воды.

Исходя из вышеизложенных аспектов, возможны следующие экологические и социально-экономические последствия:

1. Непосредственное токсическое воздействие на гидробионты (растворимые формы металлов оказывают многоуровневое токсическое действие на молекулярном уровне – блокада ферментов, повреждение мембран, нарушение синтеза белка; на клеточном уровне – ингибирование фотосинтеза у водорослей, повреждение жабр у рыб; на организменном уровне – снижение роста, репродуктивные нарушения, повышенная смертность).

2. Биоаккумуляция и биомагнификация (металлы накапливаются в тканях организмов, причём их концентрация увеличивается по мере продвижения по трофической цепи). Классический пример – метилртуть (фильтрующие организмы (мидии, зоопланктон) аккумулируют ртуть; мелкие рыбы поедают планктон; крупные хищные рыбы (щука, тунец) накапливают токсин в мышцах и печени; птицы, млекопитающие и люди, потребляющие рыбу, получают дозы, вызывающие острые и хронические отравления). Болезнь Минамата – характерная трагическая иллюстрация этого процесса – тысячи людей пострадали от неврологических расстройств, вызванных потреблением рыбы, загрязнённой метилртутью.

3. Ухудшение качества питьевой воды (многие водозаборы расположены в районах с интенсивным накоплением донных отложений. Ремобилизация металлов приводит к превышению ПДК в питьевой воде, что требует дорогостоящей дополнительной очистки или даже прекращения использования источника).

4. Деградация экосистем и потеря биоразнообразия. Длительное воздействие металлов приводит:

- К исчезновению чувствительных видов;
- Упрощению трофических сетей;
- Доминированию устойчивых, часто инвазивных видов;
- Снижению продуктивности и устойчивости экосистем.

В этой связи системный мониторинг состояния поверхностных вод перестаёт быть просто инструментом научного наблюдения. Он трансформируется в фундаментальную основу для принятия управленческих решений на всех уровнях. Его актуальность обусловлена комплексом взаимосвязанных факторов, формирующих современную парадигму природопользования и охраны окружающей среды:

1. Информационная основа для управления и прогнозирования. Без достоверных, регулярных и репрезентативных данных о физико-химических и



биологических показателях качества воды невозможна объективная оценка состояния водных объектов, выявление негативных трендов и моделирование возможных сценариев их развития, включая прогноз экотоксикологических рисков, как было рассмотрено в предыдущих исследованиях.

2. Превентивная функция и обеспечение экологической безопасности. Мониторинг выполняет роль «ранней диагностики», позволяя выявлять загрязнение на начальных стадиях, до наступления необратимых последствий для экосистем и здоровья населения. Это особенно критично для контроля залповых и аварийных сбросов, а также для оценки эффективности внедряемых ресурсосберегающих технологий, таких как системы замкнутого водооборотного цикла.

3. Контрольно-надзорная и нормативная роль. Данные мониторинга являются единственным легитимным основанием для контроля соблюдения установленных нормативов (ПДК, ВДК), оценки допустимой антропогенной нагрузки на водные объекты и привлечения к ответственности за их загрязнение.

4. Научно-обоснованное планирование природоохранной деятельности. Результаты многолетних наблюдений формируют доказательную базу для разработки и корректировки схем комплексного использования и охраны водных объектов (СКИОВО), программ по реабилитации и экологической реабилитации водоёмов.

5. Восполнение пробелов в наблюдательной сети. Как отмечается в исследованиях, действующая государственная сеть наблюдений Росгидромета зачастую не покрывает водные объекты, находящиеся в муниципальной собственности и активно используемые для рекреации, что создаёт «слепые зоны» и требует развития локальных систем мониторинга для полноценного учёта водных ресурсов.

Глобальное потепление и связанные с ним изменения гидрологического режима усиливают риски ремобилизации металлов:

- Повышение температуры воды – ускоряет химические и биохимические реакции, включая метилирование ртути.
- Учащение экстремальных гидрологических событий – наводнения и штормы вызывают эрозию и перемешивание донных отложений; засухи ведут к концентрированию загрязнителей в малых объёмах воды.
- Таяние вечной мерзлоты – высвобождает накопленные за тысячелетия запасы ртути, радионуклидов и других токсикантов в арктические реки и озёра.
- Подкисление океанов – в морских экосистемах снижение pH может привести к растворению карбонатных структур и высвобождению связанных с ними металлов.

В современных условиях мониторинг поверхностных вод выступает в качестве незаменимого связующего звена между научным знанием, практическим природопользованием и государственным регулированием. Его систематическое проведение является обязательным условием для перехода от принципа «ликвидации последствий» к стратегии «предупреждения и

минимизации рисков», что составляет суть устойчивого и ответственного водопользования. Обозначим основные методы мониторинга и оценки рисков.

1. Анализ донных отложений:

- Последовательная экстракция – позволяет определить, в каких формах (обменная, карбонатная, связанная с оксидами Fe-Mn, органическая, остаточная) присутствуют металлы.
- Спектроскопические методы (ICP-MS (масс-спектрометрия с индуктивно-связанной плазмой) – для определения ультранизких концентраций; XPS (рентгеновская фотоэлектронная спектроскопия) – для анализа валентности и химического окружения элементов).
- Биотестирование – использование тест-организмов (дафнии, водоросли, рыбы) для оценки интегральной токсичности отложений.

2. Прогностическое моделирование (модель, учитывающая диффузию, биотурбацию, кинетику растворения и гидродинамику для оценки поступления токсинов из отложений в воду; ГИС-технологии – пространственный анализ данных о загрязнении, рельефе дна, течениях, источниках сбросов для выявления «горячих точек» и прогнозирования распространения загрязнения).

3. Биоиндикация:

- Моллюски-фильтраторы (например, *Dreissena polymorpha*) аккумулируют металлы в тканях и служат удобными индикаторами загрязнения.
- Донные рыбы (камбала, сом) отражают долгосрочное воздействие.
- Растения-гипераккумуляторы (рдест, элодея) могут использоваться для оценки доступности металлов.

В настоящее время главные стратегии снижения рисков и ремедиации заключаются в следующем:

1. Осуществление профилактических мер (снижение поступления загрязняющих веществ – совершенствование технологий очистки стоков, переход на замкнутые циклы водопользования; экологическое нормирование – установление нормативов не только для воды, но и для донных отложений (ПДК, ОДК); зонирование акваторий – ограничение хозяйственной деятельности в зонах с высоким потенциалом ремобилизации).

2. Активные методы ремедиации (стабилизация (иммобилизация) – известкование (добавление CaO или CaCO<sub>3</sub> для повышения pH и перевода металлов в нерастворимые формы); введение сорбентов – применение цеолитов, активированного угля, глин для связывания металлов; использование железосодержащих реагентов – образование стабильных оксидно-гидроксидных плёнок, иммобилизирующих мышьяк, свинец и другие металлы; изоляция или капсулирование – покрытие дна инертными материалами (песок, гравий, геотекстиль) для предотвращения контакта отложений с водой; создание искусственных барьеров из бентонитовых глин или синтетических мембран; биологическая ремедиация (фиторемедиация – использование растений (рогоз, тростник, рдест), способных поглощать и накапливать металлы; микробная ремедиация – применение сульфатредуцирующих бактерий для осаждения

металлов в виде сульфидов или аэробных бактерий для окисления органических загрязнителей)).

3. Восстановление естественных условий (ренатурализация водотоков – восстановление извилистости русел, пойменных участков, прибрежной растительности; создание искусственных водно-болотных угодий – системы, служащие биофильтрами и буферами для задержки и трансформации загрязняющих веществ).

Особую нишу занимает блок инновационных и перспективных технологий.

1. Нанотехнологии в ремедиации (магнитные наносорбенты – частицы оксида железа с функционализированной поверхностью, способные селективно связывать металлы, а затем извлекаться из среды с помощью магнита; наноразмерные нуль-валентные железо – эффективны для восстановления и иммобилизации хрома, урана, мышьяка).

2. Генно-инженерные подходы (создание микроорганизмов с усиленной способностью к деградации специфических загрязнителей (нефтепродукты, пестициды) или детоксикации металлов; трансгенные растения – гипераккумуляторы – растения с повышенной биомассой и скоростью поглощения металлов для фитоэкстракции).

3. Системы интеллектуального мониторинга

– Автономные подводные аппараты и донные станции для непрерывного измерения ключевых параметров (рН, Eh, температура, концентрации металлов в режиме реального времени).

– Использование искусственного интеллекта для анализа больших данных и прогнозирования «взрывов» экологических мин.

Донные отложения, накопившие тяжёлые металлы и другие стойкие загрязнители, представляют собой классический пример «отложенной экологической проблемы». Их роль как «экологической мины» обусловлена способностью долгое время сохранять токсиканты в неактивной форме с последующим резким высвобождением при изменении условий среды. Механизмы активации разнообразны – от химических (изменение рН, Eh) и физических (перемешивание) до биологических (микробная трансформация) и климатических (потепление, экстремальные явления).

Последствия «взрыва» такой мины могут быть катастрофическими: массовая гибель гидробионтов, накопление токсинов в пищевых цепях, ухудшение качества питьевой воды, деградация целых экосистем и прямые угрозы здоровью человека. Исторические трагедии в Минамате и на Рио-Тинто служат суровым напоминанием о потенциальных масштабах бедствия. Управление этой проблемой требует комплексного подхода, включающего:

1. Глубокий научный анализ процессов трансформации и миграции металлов в системе «вода–дно–организмы».

2. Создание эффективной системы мониторинга, основанной на современных аналитических методах и прогностических моделях.

3. Разработку и внедрение превентивных мер, направленных на минимизацию поступления загрязнителей и стабилизацию донных отложений.

4. Готовность к применению методов ремедиации – от традиционных (известкование, изоляция) до инновационных (нанотехнологии, генная инженерия).

5. Учёт климатического фактора в долгосрочном планировании и адаптацию стратегий к меняющимся условиям.

Только осознание донных отложений не как пассивного хранилища, а как динамической, потенциально опасной системы позволит перейти от реагирования на уже произошедшие инциденты к упреждающему управлению рисками. Это необходимое условие для обеспечения экологической безопасности водных ресурсов, сохранения биоразнообразия и здоровья нынешних и будущих поколений.

## **МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОЛЕЙ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ ПРОМЫШЛЕННО РАЗВИТЫХ ТЕРРИТОРИЙ: МЕТОДОЛОГИЯ, ПРАКТИКА И ПЕРСПЕКТИВЫ ИНТЕГРАЦИИ В ЦИФРОВЫЕ ПЛАТФОРМЫ**

В.М. Панарин, Е.М. Рылеева, А.И. Горелкина, У.А. Макерина  
Тульский государственный университет  
г. Тула

***Аннотация.** В статье представлен комплексный анализ методологии математического моделирования пространственно-временного распределения загрязняющих веществ (ЗВ) в поверхностных водных объектах, испытывающих антропогенную нагрузку от промышленных агломераций. Рассмотрены физико-математические основы построения детерминированных моделей, основанных на решении уравнений гидродинамики и конвективно-диффузионного переноса с учётом кинетики трансформации ЗВ.*

Промышленно развитые территории являются источниками химического и теплового воздействия на гидрографическую сеть. Точечные и рассредоточенные стоки формируют сложные, динамично изменяющиеся поля концентраций загрязняющих веществ (ЗВ), прогноз которых методами натурного мониторинга затруднён из-за высокой пространственно-временной изменчивости. В этой ситуации математическое моделирование становится незаменимым инструментом для решения фундаментальных и прикладных задач: оценки текущего состояния, реконструкции условий аварийных сбросов, прогноза последствий изменения нагрузки, разработки и оптимизации нормативов допустимого воздействия (НДВ), а также планирования природоохранных мероприятий.

Целью настоящей статьи является систематическое изложение современных принципов построения, калибровки и практического применения комплексных моделей формирования полей загрязнения рек и водоёмов в условиях интенсивной промышленной деятельности, а также обзор перспективных направлений развития данного научно-прикладного инструментария. Таким образом, решение поставленных задач требует опоры на

строгий физико-математический аппарат, позволяющий формализовать процессы движения водной среды и миграции загрязняющих веществ. В этой связи ключевым элементом методологии является выбор и корректная реализация базовых уравнений, описывающих гидродинамику потока и перенос примесей, что определяет структуру и возможности всей модели в целом.

Ядро любой детерминированной модели составляет система уравнений, описывающих:

- 1) движение водной массы;
- 2) перенос и превращения ЗВ.

Гидродинамический блок. Основу расчёта поля течений составляют уравнения Рейнольдса (осреднённые Навье-Стокса) для турбулентного потока. Для большинства прикладных задач используются их упрощённые формы:

1. Одномерные (1D) модели (уравнения Сен-Венана) – для описания усреднённых по сечению характеристик (расход  $Q$ , уровень  $H$ , скорость  $U$ ) вдоль русла.

2. Двумерные по горизонтали (2DH) модели (уравнения мелкой воды) – для расчёта полей глубин ( $h$ ) и компонент скорости ( $u$ ,  $v$ ) в горизонтальной плоскости, что актуально для заливов, водохранилищ, мелководных участков рек.

3. Трёхмерные (3D) модели – для учёта стратификации, придонных процессов и детального описания зон смешения у выпусков.

Блок переноса и трансформации веществ. Распределение концентрации  $i$ -го ЗВ ( $C_i$ ) описывается уравнением конвективно-диффузионного переноса с источниками/стоками:

$$\frac{\partial C_i}{\partial t} + \nabla \times (uC_i) = \nabla \times (D\nabla C_i) + \Sigma S_k + \Sigma R_j(C_1, C_2, \dots, C_n, \theta) \quad (1)$$

где:

$\frac{\partial C_i}{\partial t}$  – локальное изменение концентрации;

$\nabla \times (uC_i)$  – адвективный перенос потоком со скоростью  $u$ ;

$\nabla \times (D\nabla C_i)$  – турбулентно-диффузионный перенос ( $D$  – тензор коэффициентов турбулентной диффузии/дисперсии);

$\Sigma S_k$  – внешние источники и стоки (сбросы, атмосферные выпадения, придонные потоки);

$\Sigma R_j$  – члены, описывающие внутренние процессы трансформации, зависящие от температурного фактора ( $\theta$ ) и концентраций других веществ.

Кинетика трансформации ЗВ ( $R_j$ ). Для промышленных стоков критически важны:

1. Кислородный баланс и органическое вещество. Система уравнений по модифицированной схеме Стретера-Фелпса (дезоксигенация – БПК, реаэрация, нитрификация).

2. Тяжелые металлы, стойкие органические загрязнители. Процессы сорбции-десорбции, описываемые изотермами (Ленгмюра, Фрейндлиха) или через коэффициент распределения  $K_d$ , седиментация сорбированной фазы со скоростью  $v_s$ , ресуспензия.

3. Нефтепродукты. Испарение (по закону Генри), био- и фотохимическая деградация, эмульгирование.

4. Термическое загрязнение. Уравнение теплопереноса с учетом теплообмена на границах.

Описанные выше уравнения и кинетические зависимости формируют теоретическую основу модели, однако их практическое применение возможно лишь при наличии корректных исходных данных и строго выстроенной процедуры настройки. Поэтому особое значение приобретает методология построения и использования модели, включающая последовательные этапы от концептуализации до сценарного анализа, обеспечивающие её прикладную ценность и достоверность результатов.

Методология построения и применения модели: от данных к решениям.  
Процесс носит циклический итерационный характер. Его ключевые этапы детализированы ниже.

Этап 1: концептуализация и сбор данных.

Определяются границы моделируемой области, пространственное разрешение сетки, набор моделируемых ЗВ. Формируется массив входных данных: топография и морфометрия русла, гидрографы расходов/уровней, метеоданные (ветер, температура воздуха, солнечная радиация), полная инвентаризация источников сброса (координаты, расходы, химический состав, режим работы), фоновые концентрации, данные мониторинга для калибровки.

Этап 2: калибровка и верификация гидродинамической модели (ГД).

На основе вышеприведенных уравнений производится расчет поля течений. Калибровка заключается в подборе эмпирических параметров (например, коэффициента шероховатости Мэннинга  $n$ ) до достижения соответствия между рассчитанными и измеренными в ключевых створах уровнями и скоростями. Верификация – окончательная проверка на независимом наборе данных. Только после этого ГД-модель считается адекватным «цифровым двойником» гидравлики объекта.

Этап 3: калибровка и верификация модели качества воды (МКВ).

Рассчитывается перенос ЗВ по уравнению (1). Калибровка – наиболее ответственный этап, требующий экспертных знаний. Путем варьирования кинетических параметров ( $K_1$ ,  $K_2$ ,  $K_d$ ,  $v$  и др.) добиваются наилучшего совпадения рассчитанных полей концентраций с данными натурных измерений. Верификация подтверждает способность модели давать надежные прогнозы при изменении внешних условий (например, в другой сезон).

Этап 4: Сценарное прогностическое моделирование. Верифицированная модель используется как полигон для анализа.

Сценарий «Наихудших условий»: маловодье, высокая температура, максимальные сбросы. Оценка риска превышения ПДК.

Сценарий «Аварийного сброса»: расчет динамики распространения «пятна» загрязнения, времени подхода к критическим объектам (водозаборы), эффективности мер по локализации.

Сценарий «Реализации природоохранных мер»: количественная оценка эффекта от модернизации очистных сооружений, строительства обводных каналов, дноуглубления.

Сценарий «Изменения климата/хозяйственной деятельности»: прогноз долгосрочных изменений в качестве воды.

Несмотря на универсальность представленного алгоритма моделирования, его реализация на промышленно развитых территориях сопряжена с рядом специфических особенностей, существенно усложняющих расчёты. Эти особенности связаны как с характером и составом загрязняющих веществ, так и с пространственной организацией источников и ролью донных отложений, что требует отдельного рассмотрения.

Специфика моделирования для промышленно развитых территорий:

1. Комплексность смеси ЗВ. Модель должна одновременно описывать вещества с диаметрально различающимся поведением (консервативные соли, биоразлагаемая органика, сорбирующиеся металлы, летучие углеводороды).

2. Высокая пространственная детализация. Необходимо детально разрешать зоны смешения у многочисленных близко расположенных выпусков, что часто требует применения 3D- или высокодетализированных 2DH-моделей.

3. Кумулятивный и синергетический эффект. Важна корректная оценка суммарной нагрузки от всех источников и возможного взаимного усиления токсического действия веществ.

4. Донные отложения как вторичный и долговременный источник. Обязательное условие – наличие в модели седиментационно-аккумуляционного модуля, описывающего накопление, диагенез и ремобилизацию ЗВ из донных осадков, особенно при изменении гидродинамического или окислительно-восстановительного режима.

5. Учет неопределённости. Состав стоков и параметры процессов часто известны с большим разбросом. Перспективно использование методов стохастического моделирования (Монте-Карло) или интервального анализа для получения оценок с заданной доверительной вероятностью.

Учет перечисленных факторов существенно повышает сложность моделей и объем обрабатываемых данных, что в традиционном формате расчётов ограничивает оперативность и регулярность их применения. В этой связи логичным этапом развития становится интеграция моделей качества воды в цифровые платформы, обеспечивающие их непрерывное обновление и использование в режиме поддержки принятия решений.

Современный тренд – переход от эпизодического моделирования к созданию цифрового двойника речного бассейна (ЦДРБ). ЦДРБ – это постоянно действующая, калибруемая в режиме, близком к реальному времени, имитационная модель, получающая поток данных с автоматизированных постов мониторинга, метеостанций, дистанционного зондирования и из систем учёта сбросов.

Преимущества подхода:

- Оперативный прогноз и раннее предупреждение (модель постоянно пересчитывает краткосрочный прогноз распространения загрязнения при авариях или изменении режима работы предприятий).

- Оптимизация мониторинга (анализ чувствительности модели позволяет определить критические точки для размещения датчиков).

- Сценарный анализ для управления (инструмент для тестирования стратегий развития территории с учетом экологических ограничений).

- Интеграция с другими моделями (ЦДРБ становится ядром, объединяющим модели атмосферных выпадений, подземных вод, эрозии почв).

В настоящее время перспективными методами являются:

1. Машинное обучение – использование методов для эмуляции «тяжёлых» расчётных блоков (например, кинетики), ускорения калибровки, анализа больших массивов данных мониторинга для выявления скрытых паттернов.

2. Высокопроизводительные вычисления – позволяют проводить множественные сценарные расчёты с высоким разрешением и оценивать неопределённости.

Практическая ценность описанного подхода наиболее наглядно проявляется при решении конкретных инженерно-экологических задач, связанных с оценкой эффективности природоохранных мероприятий.

Математическое моделирование полей загрязнения водных объектов промышленных территорий эволюционировало из инструмента теоретических исследований в обязательный компонент системы экологического менеджмента и инжиниринга. Современная методология, основанная на строгих физико-математических принципах и обязательных процедурах калибровки-верификации, обеспечивает получение количественных, воспроизводимых и объективных прогнозов. Интеграция таких моделей в платформы цифровых двойников речных бассейнов открывает путь к принципиально новому уровню управления водными ресурсами – проактивному, основанному на данных и прогнозах. Это позволит не только минимизировать экологические риски, но и находить оптимальный баланс между экономическим развитием промышленных регионов и сохранением устойчивости водных экосистем.

### **Список литературы**

1. Караушев А.В. *Теория и методы расчета речных наносов* / А.В. Караушев. – Гидрометеиздат, 1977 г.

6. Леонтьев И.К. *Цифровые двойники в гидрологии и водном хозяйстве: концепции и перспективы* / И.К. Леонтьев, Ф.Н. Лисецкий // *Водное хозяйство России*, 2019. – № 5. – С. 4-19.



## МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОЛЕЙ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ (РЕК, ОЗЕР, ВОДОХРАНИЛИЩ) НА ПРОМЫШЛЕННО РАЗВИТЫХ ТЕРРИТОРИЯХ

В.М. Панарин, Е.М. Рылеева, А.И. Горелкина, У.А. Макерина  
Тульский государственный университет,  
г. Тула

***Аннотация.** Моделирование полей загрязнения поверхностных водных объектов (рек, озер, водохранилищ) на промышленно развитых территориях представляет собой сложную, но критически важную задачу для обеспечения экологической безопасности и устойчивого развития. Высокая концентрация промышленных и коммунальных источников загрязнения, пространственная неоднородность гидрологических условий и многообразие протекающих физико-химических процессов обуславливают необходимость применения формализованных математических методов анализа и прогноза качества водной среды.*

Поверхностные водные объекты – реки, озера и водохранилища – являются критически важными элементами природной среды и основой жизнеобеспечения. Они выполняют ключевые хозяйственные, экологические и рекреационные функции, выступая источниками питьевого и промышленного водоснабжения, приемниками сточных вод, транспортными артериями и местами обитания биocenозов. Однако в условиях интенсивного промышленного развития эти экосистемы подвергаются значительной антропогенной нагрузке, становясь конечным звеном в цепи миграции разнообразных загрязняющих веществ.

На промышленно развитых территориях формируется особая, крайне напряженная экологическая обстановка. Множественные точечные (промышленные и коммунальные выпуски) и рассредоточенные (ливневый сток с урбанизированных и сельскохозяйственных площадей) источники загрязнения создают сложную, динамичную и зачастую трудно прогнозируемую картину воздействия на водные объекты. Загрязнители, среди которых доминируют тяжелые металлы, нефтепродукты, биогенные элементы, специфические органические соединения и взвешенные вещества, поступают в водную среду в различных сочетаниях и концентрациях, подвергаясь сложным процессам трансформации, переноса и накопления. Традиционная система мониторинга, основанная на ограниченном числе контрольных створов и дискретных отборах проб, зачастую не в состоянии зафиксировать полную пространственно-временную картину распределения (поля) загрязнения. Это приводит к возникновению «слепых зон» в оценке состояния вод, запаздыванию в выявлении аварийных ситуаций и, как следствие, к неэффективности принимаемых природоохранных мер.

В этой связи на первый план выходит задача прогнозного управления качеством водных ресурсов, эффективным инструментом которой является математическое моделирование. Моделирование полей загрязнения поверхностных вод представляет собой процесс создания и использования математических абстракций, описывающих основные физические, химические и

биологические процессы, определяющие распространение и судьбу загрязняющих веществ в водной среде. Оно позволяет преодолеть принципиальные ограничения эмпирических наблюдений, обеспечивая:

- Интерполяцию и экстраполяцию данных мониторинга на всю акваторию водного объекта.
- Ретроспективный анализ и установление причинно-следственных связей между источниками выбросов и состоянием воды.
- Прогноз последствий как текущей хозяйственной деятельности, так и планируемых изменений (строительство новых предприятий, модернизация очистных сооружений, изменение водного режима).
- Оптимизацию сети наблюдений, определяя ключевые точки для контрольных измерений.
- Оценку экологических рисков для водных экосистем и здоровья населения, что является основой для принятия научно обоснованных управленческих решений.

Наиболее актуальным и сложным является моделирование именно на промышленно развитых территориях, где необходимо учитывать стохастический характер нагрузок, многообразие загрязнителей с различным поведением в воде, а также сложную морфометрию и гидродинамику самих водных объектов (извилистость русел, застойные зоны, стратификацию в водохранилищах и озерах). Современные подходы к решению этой задачи интегрируют гидродинамические модели (описывающие течения и перемешивание), модели переноса вещества (основанные на уравнениях адвекции-дисперсии), геоинформационные системы (ГИС) для визуализации и анализа пространственных данных, а также методы статистического и детерминированного описания процессов трансформации загрязняющих веществ.

Главная цель моделирования – прогнозирование пространственно-временного распределения концентраций загрязняющих веществ (ЗВ) в водных объектах под воздействием промышленных и коммунальных стоков для оценки рисков и управления качеством воды.

Конкретные задачи моделирования:

1. Оценка текущего состояния: расчет полей концентраций ЗВ на основе данных мониторинга.
2. Прогноз последствий сброса новых стоков или изменения их состава, аварийных разливов, изменения гидрологического режима (сбросы воды, засухи).
3. Разработка НДТ и НДС – обоснование нормативов допустимых сбросов (НДС) для конкретных предприятий.
4. Оптимизация систем мониторинга – определение критических точек для размещения постов наблюдения.
5. Планирование природоохранных мероприятий – оценка эффективности строительства или модернизации очистных сооружений.

Характер источников загрязнения, свойства моделируемых веществ и гидрологические условия водного объекта определяют требования к математическому аппарату и уровню детализации расчётов. В зависимости от этих условий применяются различные типы математических моделей,

отличающиеся по сложности, вычислительным затратам и области применимости. Перечислим ключевые факторы, учитываемые при моделировании.

1. Источники загрязнения (входные данные модели):

- Точечные (выпуски сточных вод предприятий, коммунальные очистные сооружения. Характеризуются координатами, расходом, концентрацией ЗВ).

- Рассеянные (диффузные) – сток с урбанизированных территорий, промышленных площадок, сельхозугодий (для промышленных территорий – в основном первые два). Сложнее для учета, зависит от осадков.

- Атмосферные выпадения – для некоторых веществ (тяжелые металлы, ПАУ).

- Фоновое загрязнение – концентрации ЗВ в водотоке выше рассматриваемого участка.

2. Характеристики загрязняющих веществ (моделируемые параметры):

- Консервативные – не изменяются со временем (например, хлориды, сульфаты, некоторые тяжелые металлы). Моделирование сводится к переносу и разбавлению.

- Неконсервативные – вступают в химические, биохимические, физические процессы:

- Биоразложение (БПК, органические вещества) описывается кинетикой (часто по уравнению Стретера-Фелпса).

- Сорбция/десорбция на взвешенных веществах (тяжелые металлы, нефтепродукты) требует учета твердой фазы.

- Летучесть (нефтепродукты, летучие органические соединения).

- Растворение/осаждение.

- Радиоактивный распад.

3. Гидрологические и морфометрические параметры водного объекта:

- Расход и скорость течения воды.

- Глубина, ширина, форма русла (топография дна).

- Коэффициенты турбулентной диффузии (определяют размытие пятна загрязнения).

- Наличие застойных зон, водохранилищ, влияющих на перемешивание.

4. Гидрометеорологические условия:

- Температура воды (влияет на скорость химических и биохимических реакций).

- Ветер (вызывает течение и перемешивание в водоемах).

- Ледостав (резко меняет условия газообмена и кинетику процессов).

Реализация описанных этапов на практике осуществляется с использованием специализированных программных комплексов, которые интегрируют гидродинамические и экологические модули, а также инструменты визуализации и анализа результатов.

Выделим основные типы математических моделей:

1. Детерминированные модели (основной инструмент) основаны на решении уравнений математической физики (уравнений гидродинамики и массопереноса).

Одномерные модели (1D) предполагают, что параметры усреднены по поперечному сечению реки. Подходят для длинных рек, расчета распределения ЗВ вдоль фарватера. Базовое уравнение: уравнение переноса-диффузии-реакции. Преимущества – относительная простота, небольшой объем входных данных. Недостатки – не могут описать поперечное распределение загрязнения, важное вблизи выпусков.

Двумерные модели (2D):

- По горизонтали (2DH) – для мелководных водоемов, эстуариев, где можно пренебречь изменением параметров по глубине. Показывают пятно загрязнения на карте.

- По вертикали (2DV) – для глубоких стратифицированных водоемов (например, водохранилищ).

Преимущества – дают наглядную картину распределения.

Трехмерные модели (3D) – наиболее точные и сложные. Учитывают изменение всех параметров по длине, ширине и глубине. Используются для моделирования особо сложных ситуаций (залповые выбросы, придонные стоки, стратификация). Требуют огромного объема данных и вычислительных ресурсов.

2. Статистические и эмпирические модели. Используются при недостатке данных о процессах или для быстрой оценки. Существуют:

- Регрессионные модели (связь концентраций с расходом воды, стоком ЗВ).

- Нейросетевые модели (для прогнозирования на основе исторических данных).

3. Гибридные модели – комбинация детерминированных блоков (для переноса) и статистических (для описания сложных кинетических процессов).

Выбор конкретного типа модели определяет не только уровень детализации расчетов, но и последовательность практических действий при её реализации. Независимо от размерности и используемого математического аппарата, процесс моделирования подчиняется единой методологической схеме, включающей этапы подготовки данных, настройки параметров и анализа результатов.

Этапы моделирования:

1. Сбор данных – это самый трудоемкий этап. Необходимы данные о сбросах (инвентаризация источников), гидрология, морфометрия, фоновые концентрации, результаты мониторинга для настройки модели.

2. Выбор модели определяется целями и наличием данных. Часто начинают с 1D, затем переходят к 2D.

3. Калибровка и верификация – ключевой этап.

Калибровка – подбор параметров модели (коэффициенты диффузии, константы скорости) так, чтобы расчетные данные совпали с натурными измерениями для одного набора условий.

Верификация – проверка адекватности модели на другом независимом наборе данных (например, для другого сезона или гидрологического режима). Без верификации модель не может считаться надежной.

4. Сценарные расчеты – модель используют как цифровой двойник водного объекта. Задают различные сценарии: «Что будет, если увеличить сброс?», «Как распространится аварийный выброс?», «Насколько улучшится ситуация после модернизации очистных?».

5. Анализ и рекомендации – интерпретация карт (полей) концентраций, сравнение с ПДК, оценка зон экологического риска, подготовка управленческих решений.

Практическая реализация представленных этапов требует применения специализированных программных комплексов, обеспечивающих численное решение уравнений гидродинамики и переноса загрязняющих веществ, а также удобные средства визуализации, анализа и интерпретации полученных результатов. Особенности моделирования для промышленно развитых территорий:

1. Многокомпонентный состав загрязняющих веществ – может одновременно моделироваться множество веществ (металлы, СПАВ, органические соединения, нефтепродукты) с разным поведением.

2. Высокая пространственная детализация – необходимо точно локализовать множество точечных источников.

3. Учет залповых и аварийных сбросов – модель должна работать в нестационарном режиме.

4. Взаимодействие с донными отложениями – на промышленных территориях донные осадки часто являются аккумулятором и вторичным источником загрязнения (особенно тяжелыми металлами). Необходимо моделировать процессы седиментации и ресуспензии.

Моделирование полей загрязнения – это не просто теория, а практический инструмент эколога-аналитика и управленца. Оно позволяет перейти от реактивного контроля («зафиксировали превышение ПДК») к проактивному управлению («предсказали и предотвратили ущерб»). Для промышленно развитых территорий, где нагрузка на водные объекты максимальна, такое моделирование становится основой для принятия взвешенных решений, направленных на минимизацию экологического ущерба при сохранении экономической активности.

## **МЕХАНИЗМЫ ТРАНСФОРМАЦИИ И ИММОБИЛИЗАЦИИ ХРОМА В ВОДНОЙ СРЕДЕ: ОТ Cr(VI) К Cr(III)**

В.М. Панарин, Е.М. Рылеева, К.С. Соловьева, Е.А. Савина  
Тульский государственный университет,  
г. Тула

***Аннотация.** В статье проводится комплексный анализ химических и физико-химических процессов, определяющих поведение и трансформацию соединений хрома в природных и техногенных водных системах. Детально рассмотрены термодинамические предпосылки и кинетические особенности ключевых стадий: восстановления Cr(VI) под действием неорганических (двухвалентное железо, сульфиды) и органических (гуминовые*

*вещества, биологические редуктазы) реагентов, а также обратного, менее вероятного, но экологически значимого процесса окисления Cr(III) в присутствии диоксида марганца.*

Хром, как широко распространенный элемент литосферы и важнейший компонент современной промышленности, неизбежно попадает в окружающую среду. Его экологическая значимость и опасность для здоровья человека носят ярко выраженный дуалистический характер, полностью определяемый степенью окисления. Этот дуализм превращает изучение поведения хрома из чисто химической задачи в междисциплинарную проблему, лежащую на стыке экологии, токсикологии, гидрогеологии и природоохранных технологий.

Шестивалентный хром (Cr(VI)) существует в водных растворах в виде высокоподвижных оксоанионов (хромат-, бихромат-, дихромат-ионов). Он обладает выраженной токсичностью, мутагенностью и канцерогенностью, легко проникая через клеточные мембраны и вызывая внутриклеточный окислительный стресс. В противоположность этому, трехвалентный хром (Cr(III)) в нейтральных и щелочных условиях существует в виде катионных гидроксокомплексов, склонных к образованию малорастворимого гидроксида и активной сорбции на природных минералах. Cr(III) существенно менее токсичен и даже считается эссенциальным микроэлементом, участвующим в метаболизме глюкозы.

Поведение хрома в водной среде далеко от статичности. Оно представляет собой динамическую сеть взаимосвязанных процессов, находящихся в сложном равновесии. Судьба хромового загрязнителя – останется ли он в виде опасного, мигрирующего на большие расстояния аниона Cr(VI) или трансформируется в малоподвижный, иммобилизованный Cr(III) – решается в результате конкуренции окислительно-восстановительных, кислотно-основных, комплексообразовательных и сорбционных реакций. Способность Cr(VI) к восстановлению и, в меньшей степени, Cr(III) к окислению, лежит в основе естественной самоочищающей способности водных экосистем или, при неблагоприятных условиях, длительной персистенции токсиканта.

Интенсивность и направление этих превращений являются функциями сложного набора внешних параметров: окислительно-восстановительного потенциала (Eh), кислотности (pH), температуры, наличия специфических восстановителей (таких как Fe(II), сульфиды, органическое вещество) или окислителей (в первую очередь, оксиды марганца), а также состава растворенных веществ, способных к комплексообразованию.

Таким образом, детальное изучение механизмов и факторов, контролирующих трансформацию соединений хрома, представляет собой критически важную научную задачу. Ее решение необходимо для достоверного прогноза миграции этого приоритетного загрязнителя в подземных и поверхностных водах, оценки долгосрочных экологических и медико-санитарных рисков, а также для разработки научно обоснованных, высокоэффективных методов очистки промышленных стоков, в частности, гальванических. Целью данной работы является всесторонняя систематизация современных представлений о ключевых стадиях, молекулярных механизмах и

лимитирующих факторах окислительно-восстановительных превращений хрома в водных системах.

Основные формы хрома в водной среде и их свойства.

1. Соединения хрома (VI): высокоподвижные оксоанионы. В водных растворах в экологически значимом интервале pH от 2 до 12 шестивалентный хром существует исключительно в форме кислородсодержащих анионов. Соотношение между этими формами находится в динамическом равновесии, жестко контролируемом значением pH и общей концентрацией хрома.

В условиях сильноокислой среды ( $\text{pH} < 1$ ) может существовать хромовая кислота ( $\text{H}_2\text{CrO}_4$ ).

В кислой и слабокислой среде ( $\text{pH} 2 - 6$ ) доминируют бихромат-ион ( $\text{HCrO}_4^-$ ) и дихромат-ион ( $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ ), связанные равновесием:



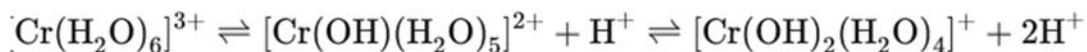
Чем выше общая концентрация хрома, тем больше сдвиг в сторону образования дихромата.

В нейтральной и, особенно, щелочной среде ( $\text{pH} > 6.5$ ) устойчивой и преобладающей формой является хромат-ион ( $\text{CrO}_4^{2-}$ ), имеющий тетраэдрическое строение.

Именно эти оксоанионы обуславливают высокую экологическую опасность Cr(VI). Они обладают исключительной растворимостью и, благодаря отрицательному заряду, слабо сорбируются на отрицательно заряженных поверхностях силикатов и других минералов. Это обеспечивает им высокую миграционную способность. Токсикологическое действие связано с их сходством с сульфат- и фосфат-ионами, что позволяет им проникать в клетки через анионные каналы. Внутри клетки Cr(VI) восстанавливается до Cr(III) с образованием реакционноспособных промежуточных частиц Cr(V) и Cr(IV), которые генерируют активные формы кислорода, вызывающие окислительный стресс, повреждение липидов, белков и ДНК.

2. Соединения хрома (III): от аквакатионов до гидроксида. В отсутствие сильных комплексообразующих лигандов поведение Cr(III) в водном растворе определяется его склонностью к образованию октаэдрических аквакомплексов и последующему гидролизу.

Основной формой в сильноокислой среде является гексааквакомплекс  $[\text{Cr}(\text{H}_2\text{O})_6]^{3+}$ . С ростом pH он подвергается ступенчатому гидролизу:



При  $\text{pH} > 5.5$  происходит необратимое осаждение аморфного, гелеобразного гидроксида хрома (III) ( $\text{Cr}(\text{OH})_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ ), характеризующегося крайне низким произведением растворимости ( $\text{ПР} \sim 6,3 \cdot 10^{-31}$ ). Это кардинально меняет свойства элемента: из растворимого катиона он превращается в твердую фазу, выпадающую в осадок. Кроме того, ионы Cr(III) и их гидроксокомплексы активно и необратимо сорбируются на поверхности оксидов и гидроксидов

железа, алюминия, марганца, а также на глинистых минералах и органическом веществе. Важной особенностью является способность Cr(III) образовывать прочные, кинетически инертные комплексы с органическими лигандами (карбоновыми и фульвокислотами), что в некоторых случаях может повышать его подвижность, препятствуя осаждению. Сводная сравнительная характеристика форм хрома представлена в таблице.

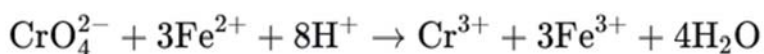
Сравнительная характеристика форм хрома

Свойство	Хром (VI)	Хром (III)
Основные формы в воде	Оксоанионы: $\text{HCrO}_4^-$ , $\text{CrO}_4^{2-}$ , $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$	Катионы: $[\text{Cr}(\text{H}_2\text{O})_6]^{3+}$ , гидроксокомплексы, $\text{Cr}(\text{OH})_3$ (тв.)
Токсикологическая опасность	Высокая: канцероген, мутаген, аллерген	Низкая: эссенциальный микроэлемент в малых дозах
Подвижность в среде	Высокая: слабая сорбция, высокая растворимость	Низкая (в нейтр./щелочн. среде): сильная сорбция, осаждение
Химическая активность	Сильный окислитель	Кинетически инертен, склонен к гидролизу и комплексообразованию
Основной процесс в природе	Восстановление до Cr(III)	Окисление до Cr(VI) (редко, в присутствии $\text{MnO}_2$ )

Восстановление Cr(VI) является главным природным и технологическим процессом его детоксикации, приводящим к превращению мобильного токсиканта в малоподвижную форму. Этот многостадийный процесс может протекать по абиогенным (химическим) и биогенным (ферментативным) путям.

#### 1. Абиогенное (химическое) восстановление:

- Восстановление двухвалентным железом (Fe(II)):  $\text{Fe}^{2+}$  является одним из самых эффективных и распространенных в природе восстановителей Cr(VI). Реакция термодинамически выгодна и протекает с заметной скоростью даже при комнатной температуре. Она может идти как в объеме раствора (гомогенно), так и на поверхности железосодержащих минералов, таких как магнетит или сидерит (гетерогенно). Суммарная стехиометрия процесса описывается уравнением:

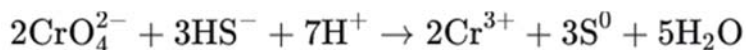


Скорость реакции максимальна в кислой среде (pH 2–3) и резко падает с увеличением pH, что связано с гидролизом и окислением  $\text{Fe}^{2+}$  кислородом воздуха. Образующиеся в результате ионы  $\text{Cr}^{3+}$  и  $\text{Fe}^{3+}$  совместно гидролизуются и соосаждаются, формируя стабильный смешанный гидроксид переменного состава  $(\text{Cr}_x\text{Fe}_{1-x})(\text{OH})_3$ . Эта соосаждение является ключевым финальным этапом, обеспечивающим эффективное удаление обоих металлов из водного раствора.

- Восстановление сульфидами и серосодержащими соединениями: сульфид-ион ( $\text{S}^{2-}$ ), гидросульфид ( $\text{HS}^-$ ), а также элементарная сера и тиосульфаты способны восстанавливать Cr(VI). Этот процесс особенно важен для анаэробных



сред: донных осадков, глубоких горизонтов загрязненных грунтовых вод, биологических реакторов. Механизм многостадийен и включает образование промежуточных нестабильных соединений хрома со степенями окисления +5 и +4. Пример суммарной реакции с гидросульфидом:



Образующаяся элементарная сера может далее участвовать в процессах сорбции.

- Восстановление органическим веществом: природные органические вещества, в особенности гуминовые и фульвокислоты, а также низкомолекулярные органические кислоты (щавелевая, лимонная, винная), проявляют восстановительную способность по отношению к Cr(VI). Реакция часто протекает медленно, но ее скорость может значительно увеличиваться при фотохимическом облучении или в присутствии каталитических количеств ионов переходных металлов (например, меди или железа), которые участвуют в переносе электрона. Механизм включает образование свободнорадикальных интермедиатов. Эффективность процесса сильно зависит от типа, молекулярной массы и концентрации органики, а также от pH среды.

2. Биологическое (ферментативное) восстановление. Многие виды бактерий и некоторые грибы обладают метаболическими механизмами для детоксикации Cr(VI). Эти механизмы можно разделить на два типа:

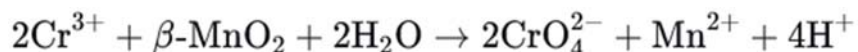
- Прямое ферментативное восстановление: специфические ферменты – хромат-редуктазы, расположенные в цитоплазме или на клеточной мембране, катализируют перенос электронов с внутриклеточных доноров (НАДН, НАДФН) на Cr(VI).

- Косвенное восстановление: некоторые бактерии в анаэробных условиях используют Cr(VI) в качестве конечного акцептора электронов в дыхательной цепи для получения энергии. Другие продуцируют внеклеточные восстановители (например, Fe(II) или сульфиды), которые затем химически восстанавливают Cr(VI).

Биовосстановление является основой перспективного направления очистки – биоремедиации, особенно эффективной для обширных территорий с низкими концентрациями загрязнителя.

Окисление хрома (III) до хрома (VI). Обратный процесс – окисление стабильного Cr(III) до токсичного Cr(VI) – термодинамически затруднен в большинстве природных вод. Однако он может становиться экологически значимым в присутствии сильных естественных окислителей.

Наиболее важным природным окислителем Cr(III) являются оксиды марганца ( $\text{MnO}_2$ ), в частности, его высокореакционные аморфные или мелкокристаллические формы (например, вернадит). Реакция носит гетерогенный характер и протекает на активных центрах поверхности минерала. Упрощенное суммарное уравнение:



Кинетика этого процесса имеет критические особенности:

- Зависимость от pH: скорость окисления максимальна в слабокислой среде (pH 3–4). При pH > 5.5 она резко падает практически до нуля из-за интенсивного гидролиза  $\text{Cr}^{3+}$  и его сорбции на поверхности  $\text{MnO}_2$  и других минералов, что блокирует активные центры.

- Роль органических лигандов: наличие органических веществ, способных образовывать комплексы с Cr(III) (например, оксалат, цитрат), может оказывать двоякое действие. С одной стороны, комплексы могут быть более реакционноспособными, чем свободный аквакатион. С другой – они могут конкурировать за сорбционные места на поверхности  $\text{MnO}_2$ , ингибируя реакцию. Преобладание того или иного эффекта зависит от структуры лиганда и условий среды.

Другие потенциальные окислители, такие как молекулярный кислород ( $\text{O}_2$ ) или пероксид водорода ( $\text{H}_2\text{O}_2$ ), окисляют Cr(III) крайне медленно в обычных условиях и не играют существенной роли в природных системах.

Глубокое понимание механизмов и факторов, управляющих трансформацией соединений хрома, имеет прямое прикладное значение для инженерной экологии и природоохранных технологий. При очистке промышленных, в частности гальванических, сточных вод, содержащих Cr(VI), доминируют технологии, основанные на управляемом восстановлении его до Cr(III) с последующей нейтрализацией и осаждением. Наиболее распространенные методы:

- Химическое восстановление реагентами:\*\* Сульфит натрия ( $\text{Na}_2\text{SO}_3$ ), бисульфит натрия ( $\text{NaHSO}_3$ ), сульфат двухвалентного железа ( $\text{FeSO}_4$ ), «железный купорос»). Выбор реагента часто обусловлен экономическими соображениями и pH стока.

- Электрохимическое (катодное) восстановление: восстановление на железных или графитовых электродах, часто сочетающееся с одновременной электрокоагуляцией.

Ключевым технологическим условием для обеспечения стабильности процесса и конечного результата является иммобилизация образующегося Cr(III). Для этого после восстановления обязательно проводят корректировку pH среды (обычно в диапазоне 7.5–9.5) для перевода ионов  $\text{Cr}^{3+}$  в форму гидроксида. Также важно минимизировать присутствие сильных окислителей (в первую очередь, остатков Cr(VI) и оксидов марганца) в конечном шламе, чтобы предотвратить потенциальное обратное окисление при длительном хранении или захоронении.

Таким образом, судьба хрома в водной среде определяется сложной и динамичной сетью конкурирующих окислительно-восстановительных и сопутствующих процессов. В большинстве природных вод с нейтральным или восстановительным потенциалом доминируют процессы восстановления токсичного Cr(VI) с последующей иммобилизацией образующегося Cr(III), что представляет собой мощный естественный геохимический барьер на пути миграции этого загрязнителя. В техногенных условиях целенаправленное индуцирование, контроль и оптимизация этих же процессов составляют

краеугольный камень современных ресурсосберегающих и экологически безопасных технологий очистки воды и ремедиации загрязненных объектов.

### **Список литературы**

1. Виноградов В.А. *Химия и экологические аспекты трансформации соединений хрома* / В.А. Виноградов, В.И. Лебедев. – Москва: Наука, 2017.
2. Емельянов В.Ю. *Токсикологические и экологические аспекты хромовых соединений в водных системах* / В.Ю. Емельянов. – Санкт-Петербург: Изд-во СПбГУ, 2019.
3. Мельников А.С. *Биохимия и микробиология водных систем* / А.С. Мельников. – Москва: Академия, 2016.
4. Акимов В.А. *Химические свойства и поведение хрома в природных водах* / В.А. Акимов, Е.П. Иванова // *Журнал химической экологии*, 2018. – № 2. – С. 112-120.
5. Титова Н.В. *Микробиологические механизмы редукции хрома в водных системах* / Н.В. Титова, В.С. Смирнов // *Водные ресурсы*, 2020. – № 1. – С. 36–44.

## **МОДЕЛИРОВАНИЕ МИГРАЦИИ ТОКСИКАНТОВ НА ОСНОВЕ УРАВНЕНИЯ АДВЕКЦИИ-ДИСПЕРСИИ КАК ОСНОВА ДЛЯ ПРОГНОЗА ЭКОТОКСИКОЛОГИЧЕСКОГО РИСКА**

Е.М. Рылеева, А.А. Гусак, К.А. Поздняков  
Тульский государственный университет,  
г. Тула

**Аннотация.** В статье рассматривается комплексный подход к оценке состояния водных экосистем на основе уравнения адвекции-дисперсии, уделяется внимание моделированию переноса загрязняющих веществ с учетом адвекции, турбулентной дисперсии и трансформации, а также применению геоинформационных систем для визуализации и прогнозирования загрязнений.

Проблема загрязнения поверхностных и подземных вод токсичными веществами промышленного и сельскохозяйственного происхождения (тяжёлые металлы, пестициды, нефтепродукты, синтетические органические соединения) остаётся одной из наиболее острых в современной экологии. Констатация факта превышения предельно допустимых концентраций (ПДК) является необходимым, но недостаточным условием для охраны экосистем. Современная экологическая наука и практика управления требуют прогнозной оценки последствий загрязнения, т.е. определения вероятности и масштаба развития неблагоприятных эффектов у биологических объектов. Такой подход ложится в основу концепции экотоксикологического риска.

В настоящее время рациональное использование и охрана водных ресурсов являются одной из ключевых задач современного природопользования. Повышение антропогенной нагрузки на водные экосистемы приводит к

ухудшению качества водной среды. В этих условиях особую значимость приобретают методы количественного анализа и прогнозирования распространения загрязняющих веществ (ЗВ), позволяющих обосновано принимать управленческие решения в области охраны водных объектов.

Эффективный прогноз возможен лишь при объединении двух блоков знаний: о закономерностях переноса и трансформации токсикантов в среде и о их биологическом действии. Первый блок традиционно является предметом математического моделирования в гидрологии, гидрогеологии и физической химии, причем основной моделью, описывающей перенос растворённого вещества потоком воды с учётом разбавления и взаимодействия со средой, является уравнение адвекции-дисперсии.

Распространение ЗВ в водной среде является результатом взаимодействия трех основных процессов: адвекции (переноса течением), дисперсии и трансформации. Главным инструментом для описания этой динамики является уравнение конвективно-дисперсионного переноса (уравнение Фика с членами адвекции и дисперсии), которое является развитием обобщенного уравнения диффузии-конвекции, включающего и учитывающего турбулентные и скоростные процессы.

Для трехмерного случая в нестационарных условиях уравнение баланса массы загрязняющего вещества выглядит следующим образом:

$$\frac{\partial C}{\partial t} + U_x * \frac{\partial C}{\partial x} + U_y * \frac{\partial C}{\partial y} + U_z * \frac{\partial C}{\partial z} = \frac{\partial}{\partial x} \left( D_x * \frac{\partial C}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( D_y * \frac{\partial C}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left( D_z * \frac{\partial C}{\partial z} \right) \pm \sum S_i ,$$

где: C – концентрация ЗВ;

t – время;

$U_{x,y,z}$  – компоненты скорости течения (член адвекции);

$D_{x,y,z}$  – коэффициенты турбулентной дисперсии;

$\sum S_i$  – стоко-источниковые члены (трансформация) [1].

В речных потоках процесс выравнивания концентраций ЗВ обеспечивается не медленной молекулярной диффузией, а турбулентной диффузией (дисперсией), интенсивность которой на несколько порядков выше. Этот процесс обусловлен хаотическим движением объемов жидкости – турбулентных вихрей [2].

Коэффициенты турбулентной дисперсии (D) количественно характеризуют эту интенсивность. В приложении к речному потоку используют систему координат, привязанную к руслу: X (продольная, вдоль потока), Y (поперечная, горизонтальная) и Z (вертикальная). Соответственно,  $D_x$  (продольная),  $D_y$  (поперечная) и  $D_z$  (вертикальная) описывают растяжение и растекание пятна загрязнения.

В зависимости от характеристик водного объекта (ВО) и необходимой детализации полное 3D-уравнение упрощается до моделей меньшей размерности [4,5]. Виды и применение моделей представлены в таблице.

## Модели меньшей размерности

Модель	Размерность	Применение	Ключевые особенности
3D-модели	Трёхмерные	Стратифицированные ВО (озера, водохранилища), расчет распространения плавучих струй (например, сброс теплых вод с ТЭЦ).	Требуют учета плотностной стратификации и больших вычислительных ресурсов (например, Delft3D-FLOW).
2D-модели	Горизонтальные	Реки, мелководные моря, эстуарии (глубинно-осредненные).	Пренебрегают вертикальными градиентами, идеальны для прогноза разлива нефти или взвешенных веществ (напр., MIKE 21 [8]).
1D-модели	Продольные	Реки и каналы (поперечно-осредненные).	Перенос только вдоль русла, эффективны для расчета времени добегания при аварийном сбросе (напр., HEC-RAS 1D [7]).
0D-модели	Камерные	Системы озер или небольшие ВО.	Пространственные градиенты игнорируются, описываются обыкновенными дифференциальными уравнениями.

Геоинформационные системы (ГИС) используются для визуализации и интерполяции данных мониторинга [9]. После расчета индекса загрязнения воды (ИЗВ) для точечных данных, для создания непрерывной карты используют пространственную интерполяцию. Наиболее точными являются геостатистические методы (кригинг), которые учитывают пространственную автокорреляцию данных через построение вариограммы и позволяют оценить ошибку предсказания.

Эти модели связывают физико-химическое распространение с биологическими последствиями, описывая, как ЗВ включается в трофические цепи.

• **Биоконцентрация:** накопление ЗВ организмом из воды, описывается коэффициентом биоконцентрации (КБК), который равен отношению концентрации ЗВ в организме к его концентрации в воде [10].

• **Биоусиление (биомагнификация):** передача и дополнительное накопление ЗВ на каждом последующем трофическом уровне (например, радионуклиды, тяжелые металлы) [11].

• **Биоаккумуляция:** накопление ЗВ организмом из всех источников (вода, пища, осадки). Показывает общую токсическую нагрузку на организм [12].

Модель представляет собой систему дифференциальных уравнений, описывающих потоки вещества между «компартаментами» (вода, осадки, биота) и позволяет оценить экологический риск для гидробионтов и человека, потребляющего загрязненные ресурсы.

Проведённый анализ показал, что уравнение адвекции-дисперсии является фундаментальной основой для описания и прогнозирования поведения загрязняющих веществ в водных экосистемах. Использование этого подхода позволяет учитывать ключевые процессы переноса, турбулентного

перемешивания и трансформации веществ, обеспечивая тем самым физически обоснованное моделирование качества водной среды.

Современные тенденции развития гидроэкологических исследований направлены на интеграцию физических, геоинформационных и экотоксикологических подходов. Такое сочетание позволяет не только прогнозировать пространственное распределение загрязняющих веществ, но и оценивать их биологические последствия, включая процессы биоаккумуляции и биотрансформации.

Таким образом, комплексное использование уравнения адвекции-дисперсии, ГИС-технологий и экотоксикологических моделей формирует научно обоснованную основу для оценки и прогнозирования экологического риска, что способствует совершенствованию системы управления качеством водной среды и устойчивому природопользованию.

### Список литературы

1. Антонов И.В. Массоперенос в воздушной и водной средах: учебное пособие / И.В. Антонов, А.В. Епифанов. – СПб.: ВШТЭ СПбГУПТД, 2024. – 87 с.
2. Фомин А.Н. Определение динамической скорости в системе уравнений Л. Прандтля / А.Н. Фомин, С.Н. Кузнецов // ГИАБ. – 2020. – №11-1.
3. Кашутина Е.А. Оценка переноса загрязнений в водной среде в разных фазах / Е.А. Кашутина, С.В. Ясинский, Е.В. Веницианов, Е.С. Гришанцева, М.В. Сидорова // Проблемы региональной экологии. – 2022. – №5.
4. Филатов Н.Н. и др. «Диагноз состояния и изменений экосистемы Онежского озера с использованием 3D-математической модели SPLEM». Гидрофизика (СПб), 2024.
5. Алабян А.М. Мировой опыт численного моделирования динамического взаимодействия речных и морских вод в устьевых областях рек / А.М. Алабян, И.Н. Крыленко, С.В. Лебедева, Е.Д. Панченко // Водные ресурсы, 2022. – Т.49, №5. – С.552-567.
6. Приказ Минприроды РФ № 1118 от 29.12.2020 «Об утверждении Методики разработки нормативов допустимых сбросов загрязняющих веществ в водные объекты для водопользователей». – [Минприроды РФ, 2020].
7. РД 52.24.689-2021 «Методические указания по расчёту смешения и разбавления сточных вод в водных объектах». – Росгидромет, 2021.
8. Обзор моделей переноса загрязняющих веществ с использованием ГИС-технологий // Известия РАН. Серия географическая. – 2023. – № 1.
9. Карпухина О.В. Оценка риска биоаккумуляции микропластика и наночастиц тяжёлых металлов для пресноводных одноклеточных *paramecium caudatum* и *tetrahymena thermophila* / О.В. Карпухина, А.А. Снег, И.Г. Калинина // Биосфера. – 2024. – №2.
10. Горбачева Е.А. Загрязнение внутренних водоемов Кольского полуострова в 2023 году / Е.А. Горбачева, М.А. Новиков // Национальная (всероссийская) научно-практическая конференция «Природные ресурсы, их современное состояние, охрана, промышленное и техническое использование». – 2024. – №XV.
11. Рыбаков В.А., Сидоров А.И. (2019). Процессы биоаккумуляции в водных экосистемах. Вопросы рыболовства, 20(2), 123-135.

# МЕДИЦИНСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ

## РАЗРАБОТКА БИОСОВМЕСТИМЫХ КРЕМНИЙОРГАНИЧЕСКИХ КОМПОЗИТОВ ДЛЯ КОСТНОЙ ПЛАСТИКИ: СРАВНИТЕЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВИСМУТ- И ОЛОВООРГАНИЧЕСКИХ КАТАЛИЗАТОРОВ

А.Р. Вафина, Л.А. Зенитова  
ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский  
технологический университет»,  
г. Казань

**Аннотация.** Показано, что висмуторганические катализаторы (САТ 22, САТ 20А) обеспечивают значительно более быстрое отверждение кремнийорганических остеопластических композитов по сравнению с оловянным (ЭГО): при 4 мас. ч. и 23 °С – 7 мин (САТ 20А), 13 мин (САТ 22) против 48 мин (ЭГО). Композиты химически стабильны (рН = 6,0;  $n \approx 1,331$ ), не выщелачивают компоненты и обладают высокой термостабильностью. САТ 20А рекомендуется как нетоксичная альтернатива ЭГО для биомедицинских применений.

**Ключевые слова:** висмуторганические катализаторы, остеопластика, биосовместимость, холодное отверждение, кремнийорганические эластомеры, САТ 20А, медицинские полимерные композиты.

### Введение

Современная регенеративная медицина требует биосовместимых остеопластических материалов, способных отверждаться при физиологических условиях. Традиционный катализатор – 2-этилгексаноат олова (ЭГО) – эффективен, но цитотоксичен. В качестве безопасной альтернативы рассматриваются висмутсодержащие катализаторы (САТ 22, САТ 20А). Цель работы – сравнить ЭГО, САТ 22 и САТ 20А по скорости отверждения, термостабильности и химической инертности в условиях, приближенных к клиническим.

### Методы

Композиты на основе СКТН-Г и аэросила А-175 (20 мас. ч.) с катализаторами (1-7 мас. ч.) готовили в ступке. Время отверждения определяли методом «отлипа» при 23 °С и 40 °С. Термостабильность оценивали по TGA (20–300 °С, N<sub>2</sub>). Химическую стабильность – по рН и показателю преломления водных экстрактов после 24 ч инкубации при 37 °С.

### Результаты и обсуждение

#### 1. Кинетика отверждения

Наиболее активен САТ 20А: при 4 мас. ч. и 23 °С отверждение – 7 мин 8 с (в 6,7 раз быстрее ЭГО). При 40 °С – 2-3 мин. Оптимальная концентрация – 4 мас. ч.; её превышение замедляет отверждение.

### Зависимость времени отверждения от концентрации катализатора при н.у.



Рис. 1. Зависимость времени отверждения от концентрации катализатора при н.у.:  
1 – ЭГО, 2 – CAT 22, 3 – CAT 20A

### 2. Термомеханическая стабильность

TGA-анализ показал наибольшую термостойкость композита с CAT 20A (интенсивная деструкция начинается при 310 °С против 285 °С для ЭГО), что свидетельствует о более полном сшивании и стабильной Si–O–Si сетке. Термограммы представлены на рис. 2.

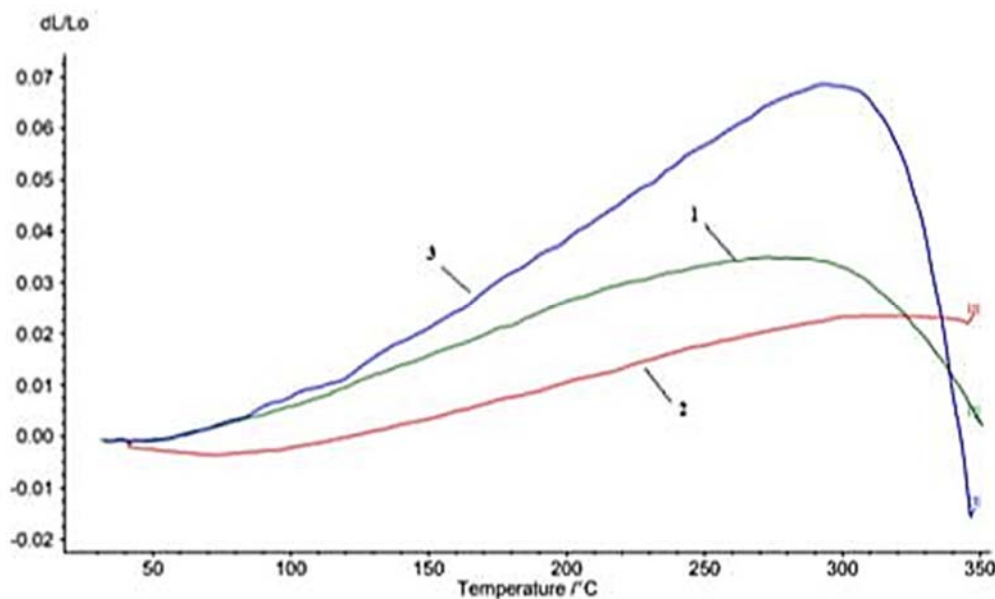


Рис. 2. Термогравиметрические кривые композиты СКТН-Г/аэросил А-175, отвержденные различными катализаторами при содержании катализатора 4 мас.ч.:  
1 – CAT 20A, 2 – CAT 22, 3 – ЭГО



### 3. Химическая стабильность и биосовместимость

Все экстракты имели  $pH = 6,0$  и  $n = 1,331-1,332$ , что близко к показателям дистиллированной воды ( $pH = 7,0$ ;  $n = 1,331$ ). Отсутствие зависимости от типа и концентрации катализатора свидетельствует об отсутствии выщелачивания ионов металлов или низкомолекулярных продуктов, что соответствует требованиям стандарта ISO 10993 для материалов, контактирующих с тканями.

Характеристика водных экстрактов ПКМ

ПКМ с катализатором:	Катализатор, мас.ч.	pH	n
CAT-20A	1	6,0	1,331
	2,5	6,0	1,332
	4	6,0	1,331
CAT-22	1	6,0	1,332
	2,5	6,0	1,332
	4	6,0	1,331
ЭГО	1	6,0	1,331
	2,5	6,0	1,331
	4	6,0	1,331
Дистиллированная вода	—	7,0	1,331

### Заключение

Исследование подтвердило преимущества висмуторганических катализаторов, особенно CAT 20A, за счёт высокой скорости холодного отверждения, термостабильности, химической инертности и низкой токсичности. Композиты рекомендованы к биологическим испытаниям и могут использоваться в остеопластике как персонализируемые имплантаты.

### Список литературы

1. Wang Y. et al. *Bismuth-based catalysts in silicone curing: A green alternative* // *Green Chem.* 2020. V. 22. P. 5890–5898.
2. Decker T. et al. *Cytotoxicity of organotin compounds in dental materials* // *J. Biomed. Mater. Res. B.* 2018. V. 106, №3. P. 1021–1028.
3. ISO 10993-1:2018. *Biological evaluation of medical devices.*
4. Вафина А.Р. Исследование влияния катализатора на свойства силоксановых композиций медицинского назначения / А.Р. Вафина, Л.А. Зенитова // *Вестник технологического университета.* – 2022. – Т. 25, №8. – С. 111-115.
5. Zhang Y. et al. *Microstructure–degradation relationship in silicone-based bone substitutes* // *Mater. Sci. Eng.* – C. 2019.

# ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

## КОМПЛЕКСНЫЕ СОЕДИНЕНИЯ И ИХ ПРАКТИЧЕСКОЕ ПРИМЕНЕНИЕ

Е.И. Заживихина, С.А. Маркова, Е.Е. Кузнецова  
Чувашский государственный университет им. И.Н. Ульянова,  
г. Чебоксары

***Аннотация.** В данной статье рассматриваются получение некоторых комплексных соединений, свойства, их практическое применение в образовательной и научно-исследовательской практике.*

В настоящее время комплексных соединений известно больше, чем простых. Первые комплексные соединения были синтезированы в середине прошлого века, однако, теоретические представления о них стали развиваться после опубликования в 1893 году швейцарским химиком А. Вернером координационной теории. Большой вклад в химию комплексных соединений внесли русские ученые Л.А. Чугаев, И.И. Черняев и их ученики. Значение комплексных соединений для различных областей техники очень велико. Способность веществ образовывать комплексные соединения используется для разработки эффективных методов получения химически чистых металлов из руд, редких металлов, сверхчистых полупроводниковых материалов, катализаторов, красителей, лекарственных препаратов, очистки природных и сточных вод, растворения накипи в парогенераторах. В 1843 году П.Р. Багратион опубликовал труд «Основы гидрометаллургии золота», описывающий растворение золота и серебра в водных растворах цианистых солей в присутствии кислорода и окислителей, которое впервые было внедрено в России на Кочкарском руднике в 1896 году:  $4\text{Au (в руде)} + 8\text{KCN} + 2\text{H}_2\text{O} + \text{O}_2 = 4\text{K}[\text{Au}(\text{CN})_2] + 4\text{KOH}$

Затем золото можно извлечь «разрушением» комплексного соединения восстановителем (Zn):  $2\text{K}[\text{Au}(\text{CN})_2] + 2\text{Zn} = 2\text{Au}\downarrow(\text{чистое золото}) + \text{K}_2[\text{Zn}(\text{CN})_4]$ .

Комплексные соединения используются для получения гальванических покрытий, для получения мелкокристаллических осадков меди, применение этилендиаминовых и этаноламиновых электролитов, содержащих комплексные ионы  $[\text{Cu}(\text{En})_2]^{2+}$  и  $[\text{CuEt}_4]^{2+}$  соответственно. Они нашли широкое применение в аналитической химии для качественного определения элементов и их количественного анализа. Комплексные соединения  $\text{K}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]$  и  $\text{K}_3[\text{Fe}(\text{CN})_6]$  являются качественными реактивами на ионы  $\text{Fe}^{3+}$  и  $\text{Fe}^{2+}$  соответственно. Для обнаружения иона железа (III) удобно применять сложное (комплексное) соединение железа, называемое жёлтой кровяной солью или гексацианоферрат (II) калия  $\text{K}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]$ . В растворе эта соль диссоциирует на ионы:

$\text{K}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6] \rightarrow 4\text{K}^+ + [\text{Fe}(\text{CN})_6]^{4-}$ . При взаимодействии ионов  $[\text{Fe}(\text{CN})_6]^{4-}$  с  $\text{Fe}^{3+}$  образуется тёмно-синий осадок – берлинская лазурь:

$3[\text{Fe}(\text{CN})_6]^{4-} + 4\text{Fe}^{3+} \rightarrow \text{Fe}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]_3 \downarrow$  (качественная реакция на ион  $\text{Fe}^{3+}$ ).

Другое комплексное соединение железа – красная кровяная соль или гексацианоферрат (III) калия в растворе диссоциирует на ионы:  $\text{K}_3[\text{Fe}(\text{CN})_6] \rightarrow 3\text{K}^+ + [\text{Fe}(\text{CN})_6]^{3-}$ . Комплексный ион  $[\text{Fe}(\text{CN})_6]^{3-}$  взаимодействует с  $\text{Fe}^{2+}$ :  $2[\text{Fe}(\text{CN})_6]^{3-} + 3\text{Fe}^{2+} \rightarrow \text{Fe}_3[\text{Fe}(\text{CN})_6]_2 \downarrow$  (качественная реакция на ион  $\text{Fe}^{2+}$ ). Образующееся соединение синего цвета – турнбулева синь. Самое разнообразное применение находят комплексы d-элементов: селективные катализаторы, производство моющих средств, лаков и красок, борьба с коррозией, медицина и другие. В сельском хозяйстве некоторые микроэлементы из-за образования малорастворимых соединений вводятся в виде комплексонов. Потребление растениями элементов минерального питания является сложным физиологическим процессом, который зависит от биологических особенностей растения и условий окружающей среды, в котором развивается растительный организм. В лаборатории биопрепаратов при использовании аммиачного комплекса меди  $[\text{Cu}(\text{NH}_3)_4](\text{OH})_2$  [2,5] как ростстимулирующего средства для предпосевной обработки семян кормовой пшеницы сорта «Отечественная», позволяет существенно повысить энергию прорастания, лабораторную всхожесть, а также содержание хлорофилла в листьях, что ускоряет начало созревания зерновых культур. Хелат марганца с EDTA широко используется в качестве микроудобрения для различных культур: зерновые, овощные. Обеспечение растений марганцем в хелатной форме способствует улучшению роста, развития урожайности лука репчатого [6]. Необходимо контролировать содержание тяжелых металлов: ионов меди (II), марганца (II), в том числе и других металлов в пределах допустимой концентрации [1-9].

### Список литературы

1. Алексеев В.Н. Курс качественного химического полумикроанализа: учебник для ВУзов / В.Н. Алексеев; ред. П.К. Агасян. – 5-е изд., перераб. и доп. – М.: Химия, 1973. – 584 с.
2. Общая химия. Комплексные соединения. Качественные реакции в технике: учеб. программа / сост. Е.И. Заживихина, С.А. Маркова. – Чебоксары: Изд-во Чуваш. ун-та, 2016. – 40с.
3. Заживихина Е.И., Смирнова С.Н., Маркова С.А. Синтез и биологическая роль препаратов меди // Актуальные вопросы фармацевтики и фармацевтического образования в России: сб. материалов Всерос. конф. с междунар. участием. – Чебоксары: Изд-во Чуваш. ун-та, 2013. – С. 25.
4. Заживихина Е.И. Способ очистки металлических поверхностей от медных отложений / А.Н. Лыщиков, С.Н. Смирнова, С.А. Маркова, Л.В. Королева, В.Г. Кирий // Патент РФ № 2548547. Оpubл. 20.04.2015. Бюл. №11.
5. Заживихина Е.И., Маркова С.А., Смирнова С.Н. Количественные методы определения элементов // Приоритетные направления развития науки и технологий: доклады XX международной научн.-техн. конф.; под общ. ред. В.М. Панарина. – Тула: Изд-во «Инновационные технологии», 2016. – С. 77-80.

6. Заживихина Е.И. Количественное определение меди в п-аминобензойной кислоте / Е.И. Заживихина, С.А. Маркова, С.Н. Смирнова // *Современные проблемы химической науки и фармации: сб. материалов V всерос. конф. с междунар. участием.* – Чебоксары: изд-во ООО «Крона», 2016. – С.105-106.

7. Заживихина Е.И. Удаление медных покрытий и изучение рострегулирующих свойств аммиачного комплекса меди / Е.И. Заживихина, С.А. Маркова, Д.А. Заживихин // *Современные проблемы экологии : сб. докладов по материалам XXXIII Всероссийской науч.-практич. конф. / под общ. ред. В.М. Панарина; техн. ред. Н.Н. Жукова, Л.П. Путилина.* – Тула: Изд-во ТулГУ, 2025. – С. 147-149.

8. Заживихина Е.И. Влияние хелата Mn-EDTA на биохимические показатели лука / Е.И. Заживихина, С.А. Маркова, А.В. Блинова, Э.Р. Бакирова // *Теоретические и прикладные аспекты естественнонаучного образования: материалы Международной научно-практической конференции, посвященной 95-летию ЧГПУ им. И.Я. Яковлева [Электронный ресурс] / отв. ред. О.С. Индейкина.* – Чебоксары: Чуваш. гос. пед. ун-т, 2025. – С. 98-101.

## **ФОРМИРОВАНИЕ ПРОФЕССИОНАЛЬНОЙ УСТОЙЧИВОСТИ У СТУДЕНТОВ НЕФТЕГАЗОВОГО ПРОФИЛЯ: ПЕРСПЕКТИВЫ ВИРТУАЛЬНОЙ РЕАЛЬНОСТИ В ОБРАЗОВАНИИ**

О.С. Бушуева<sup>1</sup>, Д.А. Мельникова<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Самарский государственный технический университет,

<sup>2</sup> Самарский государственный экономический университет,  
г. Самара

**Аннотация.** В статье исследуются дидактические возможности и ограничения применения технологий виртуальной реальности в процессе профессиональной подготовки студентов направления «Нефтегазовое дело». Основное внимание уделяется анализу потенциала VR-сред для формирования стрессоустойчивости, отработки практических навыков в условиях, имитирующих реальные производственные риски, и минимизация ошибочных действий. Рассмотрены психофизиологические аспекты иммерсивного обучения и предложены методические рекомендации по интеграции VR в образовательный процесс.

**Ключевые слова.** виртуальная реальность, высшее образование, профессиональная подготовка, нефтегазовое дело, стрессоустойчивость, иммерсивное обучение.

Актуальность внедрения инновационных образовательных технологий в подготовку инженерных кадров для нефтегазовой отрасли обусловлена высокими требованиями к профессиональной компетентности и психофизиологической устойчивости будущих специалистов [1]. Студенты направления «Нефтегазовое дело» уже на этапе обучения сталкиваются с необходимостью усвоения знаний о сложных, опасных производственных объектах, что зачастую сопряжено с повышенной когнитивной нагрузкой в процессе учебного процесса [2]. Традиционные методы обучения не всегда способны обеспечить безопасное и эффективное погружение в профессиональную деятельность, связанную с нештатными или аварийными

ситуациями. В связи с этим представляется перспективным использование технологий виртуальной реальности как инструмента, моделирующего профессиональную среду и способствующего формированию адаптационных ресурсов студентов.

Современные VR-технологии, основанные на принципах полного сенсорного погружения, предоставляют уникальные возможности для создания интерактивных учебных симуляторов [3]. В отличие от пассивных форм обучения, иммерсивная среда активизирует мультисенсорное восприятие, эмоциональную вовлеченность и практико-ориентированное мышление, что критически важно для усвоения профессиональных алгоритмов действий в условиях неопределенности [4]. Для нефтегазовой отрасли, где ошибки персонала могут иметь катастрофические последствия, VR-тренажеры позволяют многократно и безопасно отрабатывать навыки реагирования на аварийные ситуации, управления технологическим процессом и проведения ремонтных работ на опасных объектах.

Ключевым преимуществом VR-технологий в образовательном процессе является возможность вовлечь студентов в профессиональную среду и погрузиться в алгоритмизацию операций, связанную с будущей профессиональной деятельностью. Обучающийся может оказаться при ошибочных действиях на VR-тренажере в аварийной ситуации, отработать свои действия до автоматизма и в последующей деятельности с минимальным стрессом и временными потерями, принять верное решение на реальном объекте повышенной опасности. Студент может поэтапно, под контролем преподавателя и встроенных алгоритмов, адаптироваться с помощью виртуального сценария. Это способствует не только накоплению профессионального опыта, но и развитию психологической устойчивости, снижению тревожности в процессе будущей профессиональной деятельности [5]. Исследования в области педагогической психологии показывают, что обучение в иммерсивных средах способствует лучшему долгосрочному запоминанию информации (до 75 % по сравнению с 10 % при чтении лекций) и формированию устойчивых моторных навыков [6].

Однако у этой технологии тоже есть свои отрицательные стороны. Один из таких факторов это то, что длительное и нерегламентированное использование VR-технологий сопряжено с рядом рисков для психофизиологического состояния обучающихся. К ним относятся киберболезнь (симптомы, схожие с укачиванием), зрительное утомление, дезориентация, а в некоторых случаях – усиление тревожности или синдром деперсонализации [7]. Особое внимание в образовательном процессе следует уделять эргономике, продолжительности сеансов (рекомендуется не более 20-30 минут непрерывной работы) и обязательному проведению пост-иммерсивного анализа опыта совместно с педагогом [8].

Интеграция VR-технологий в учебный процесс должна быть системной и методически обоснованной. Она предполагает:

1. Разработку библиотеки VR-симуляторов, соответствующих профессиональным стандартам и типовым опасным ситуациям в отрасли;

2. Включение в учебные модули занятий по стресс-менеджменту и рефлексии виртуального опыта;

3. Подготовку преподавательского состава к работе в новых технологических и педагогических условиях.

#### **Выводы:**

1. Технологии виртуальной реальности обладают значительным педагогическим потенциалом для формирования профессиональных компетенций и стрессоустойчивости у студентов нефтегазового профиля, обеспечивая безопасное погружение в моделируемые производственные условия.

2. Эффективность применения VR-технологий в образовании напрямую зависит от методического сопровождения, дозирования учебной нагрузки и сочетания иммерсивных практик с психолого-педагогической поддержкой.

3. Перспективным направлением дальнейших исследований является разработка критериев оценки сформированности профессиональной устойчивости и адаптация VR-контента под индивидуальные образовательные траектории студентов.

#### **Список литературы**

1. *Инновационные технологии в образовательной деятельности: Материалы XXVII Международной научно-методической конференции, Нижний Новгород, 06 февраля 2025 года. – Нижний Новгород: Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева, 2025. – 516 с. – ISBN 978-5-502-01860-9. – EDN ZCPEOS.*

2. Ким А.А. Учебный стресс и его особенности / А.А. Ким // *Инновационные технологии и образование: Материалы международной научно-практической конференции. В 2 частях, Минск, 28 апреля 2022 года. Том Часть 2. – Минск: Белорусский национальный технический университет, 2022. – С. 117-120. – EDN NCKHBY.*

3. Волкова М.М. Применение виртуальных тренажеров для обучения специалистов нефтегазовой отрасли / М.М. Волкова, Р.А. Манурова, Д.Н. Шайдуллина // *Вестник Технологического университета. – 2019. – Т. 22, № 4. – С. 115-121. – EDN VGVUGC.*

4. Мальцева Светлана Михайловна, Софонов Дмитрий Алексеевич, Нагорнов Евгений Александрович **ИММЕРСИВНОЕ ОБУЧЕНИЕ: ПЕРСПЕКТИВЫ И ВЫЗОВЫ ВНЕДРЕНИЯ VR/AR/MR ТЕХНОЛОГИЙ В ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЙ ПРОЦЕСС** // *Проблемы современного педагогического образования. – 2024. – №85-1.*

5. Рахманов Ф.Г. Применение имитационных виртуальных тренажёров в процессе профессионального обучения / Ф.Г. Рахманов // *Молодой ученый. – 2015. – № 9(89). – С. 1173-1175. – EDN TRNFOB.*

6. Платонова Айше Вадимовна **ИММЕРСИЯ В ОБРАЗОВАНИИ: НОВЫЕ ПОДХОДЫ К ЭФФЕКТИВНОМУ ОБУЧЕНИЮ** // *Проблемы современного педагогического образования. 2025. №87-1.*

7. Григорьева И.В. Анализ рисков и угроз применения технологий виртуальной, дополненной и смешанной (VR/AR/MR) реальности студентами / И.В. Григорьева, М.Э. Григорьев // Психическое здоровье семьи: российские традиции и современные подходы к оказанию помощи. – 2024. – №1.

8. Карев Б.А. Иммерсивные технологии как часть новой образовательной реальности и их применение в общеобразовательной школе / Б.А. Карев, В.О. Проконцев // Современная наука: актуальные проблемы теории и практики. Серия: гуманитарные науки. – 2021. – № 04(2). – С. 71-74.

## **СОВРЕМЕННЫЕ ПОДХОДЫ К ОРГАНИЗАЦИИ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ СТУДЕНТОВ МЕДИЦИНСКОГО ИНСТИТУТА ПО КУРСУ «АНАТОМИЯ ЧЕЛОВЕКА»**

Н.Н. Петрук, М.В. Гюльмагомедова  
Сургутский государственный университет,  
г. Сургут

***Аннотация.** В настоящее время происходит стремительное развитие цифровых технологий, оказывающих влияние на повседневную жизнь человека, рабочий процесс, а также организацию учебной деятельности в учебных заведениях. Активная цифровизация предполагает не только оптимизацию трудовой деятельности, но и улучшение эффективности результатов обучения. На кафедре Морфологии и физиологии Медицинского института Сургутского Государственного Университета наряду с традиционными методами обучения используются инновационные технические средства обеспечения учебного процесса, такие как: интерактивный анатомический стол «Пирогов». Возможности программного обеспечения виртуального анатомического стола позволяют повысить наглядность преподавания ряда морфологических дисциплин: анатомия человека, гистология, топографическая анатомия и оперативная хирургия, патологическая анатомия.*

Интерес к строению тела человека существовал во все времена. Известно, что изучение анатомии человека началось с древних лет. Расцвет анатомических открытий приходится на период эпохи Возрождения. Неоценимый вклад в развитие анатомии, как науки, внёс бельгийский врач Андреас Везалий.

Благодаря усилиям талантливого учёного было разрешено проведение вскрытий, что позволило исключить полученные ранее ошибочные сведения о строении органов и систем организма человека, а также способствовало новым открытиям в анатомии. В связи с появившейся возможностью препарирования Андреас Везалий усовершенствовал метод преподавания анатомии человека, используя на лекциях и практических занятиях в качестве наглядных пособий кадаверный материал.

Начиная с периода эпохи Возрождения и по настоящее время изучение анатомии человека неразрывно связано с использованием в ходе образовательного процесса демонстрационного вспомогательного материала: анатомических рисунков, муляжей органов и систем, а также сухих и влажных анатомических препаратов. Так как «Анатомия человека» относится к фундаментальным дисциплинам, то это предполагает использование в учебном

процессе классических форм изучения. На кафедре Морфологии и физиологии Медицинского института Сургутского Государственного Университета преподавание анатомии человека происходит традиционно: на лекциях и практических занятиях. Особое место при изучении курса «Анатомия человека» отводится самостоятельной работе студентов.

На практических занятиях в обязательном порядке предусмотрена самостоятельная работа студентов с вспомогательным наглядным материалом, широко представленным на кафедре: с сухими костными препаратами (скелет в сборе, отдельно представленные кости), пластинатами органов и органокомплексов, суставов, топографических мышечных образований и пр.

Изучение строения органов и систем наиболее эффективно происходит при работе с анатомическими препаратами, так как возможность рассмотреть изучаемую область во всех ракурсах улучшает восприятие нового материала, а также способствует запоминанию полученной информации. Таким образом, при изучении таких разделов анатомии человека как: остеология, артрология и спланхнология – студенты пользуются наглядными пособиями кафедры.

Но существует ряд разделов дисциплины, таких как: ангиология, лимфология, черепно-мозговые нервы, центральная и периферическая нервная система, для изучения которых практически отсутствуют информативные наглядные пособия. Как правило, наибольшую трудность представляет понимание студентами хода сосудов и нервов при их прохождении в костных каналах, взаиморасположение некоторых органов и сосудисто – нервных образований, а также понимание послойного строения областей тела человека.

Неоспоримым решением данного вопроса является использование в ходе практических занятий и лекций, а также в качестве самостоятельной работы студентов, программного обеспечения виртуального анатомического стола «Пирогов». Преимуществом виртуального анатомического стола «Пирогов» является возможность удаленного подключения, можно подключаться от ноутбука к столу, а также можно использовать удаленные видеозанятия преподавателя студентом с демонстрацией 3D-атласа с домашнего ноутбука.

Стол «Пирогов» позволяет изучать 3D-модель человеческого тела в натуральную величину. В основе данного стола заложена богатейшая анатомическая база (используется 3D-атлас человеческого тела). Также технические возможности данного 3D-стола позволяют масштабировать и вращать 3D-модели. В данном оборудовании используются базы анатомических сцен по системам органов. Кроме того, можно исследовать точки начала и прикрепления мышц, ход сосудисто-нервных образований, различные внутриорганные анатомические образования. Изображаемые объекты снабжены углубленным описанием структур.

Преподаватель может заранее подготовить сцену и сохранить её. Также данный стол применяется в том числе для решения клинико-анатомических задач.

Исходя из вышеизложенного можно сделать вывод о том, что благодаря активному развитию цифровых технологий представляется возможным не только оптимизировать трудовую деятельность населения, но и плодотворно



использовать продукты технического прогресса в учебном процессе. Применение в курсе «Анатомия человека» виртуального анатомического стола «Пирогов» позволяет повысить наглядность преподавания всех разделов дисциплины, а также закрепить полученные знания путём самостоятельной работы студентов с разнообразными формами диагностических заданий интерактивного стола. Таким образом, используемые цифровые современные технологии повышают вовлеченность студентов в образовательный процесс.

## ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИЕ ТЕХНОЛОГИИ

### ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ: ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ ЭЛЕКТРОТЕХНОЛОГИИ

Е.М. Басарыгина<sup>1</sup>, Т.А. Путилова<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Южно-Уральский государственный аграрный университет,  
г. Троицк

<sup>2</sup> Челябинский институт путей сообщения,  
г. Челябинск

***Аннотация.** В статье представлены результаты исследований, связанных с разработкой технических средств электротехнологии, предназначенных для производства посадочного материала плодово-ягодных культур.*

Интенсивное развитие растениеводства и насыщение рынка отечественными продуктами обуславливают необходимость производства посадочного материала плодово-ягодных культур.

В соответствии с Доктриной продовольственной безопасности Российской Федерации «уровень самообеспечения (соотношения объемов производства и внутреннего потребления отечественной сельскохозяйственной продукции) фруктами и ягодами должен быть не менее 60 %». Для успешного решения поставленной задачи необходимо совершенствование технологий производства посадочного материала. В технологиях производства посадочного материала, предназначенных для условий открытого и защищенного грунта, применяются различные способы вегетативного размножения растений. С использованием культивационных сооружений осуществляются технологические процессы выращивания саженцев с закрытой корневой системой, получившие широкое распространение в отечественном плодоводстве в последние десятилетия. Условия защищенного грунта задействуются в технологиях размножения растений с помощью зеленых черенков и микроклонального размножения. Преимущества защищенного грунта заключаются в создании необходимых условий для роста саженцев, регулировании режимов: водного, светового и т.д. [1]. Производство посадочного материала в условиях защищенного грунта

предусматривает выполнение следующих основных технологических операций: внесение удобрений и субстрата; посадка саженцев, сеянцев и подвоев; выращивание посадочного материала; междурядная обработка т.д. Технические средства, предназначенные для выполнения указанных операций, приведены в таблице.

Современные технологические комплексы  
для выращивания и посадки саженцев [1]

Технологический комплекс	Технологическое средство
Выращивание саженцев	Универсальный комплекс для маточников УКМ
Выращивание сеянцев	Самоходное универсальное высококлиренсное гидрофицированное энергосредство с электронным управлением (УВЭС) и технологическими модулями
Посадка саженцев, сеянцев и подвоев	Сажалки питомниководческие СПУ-1, СП-2, СП-4. Машина для посадки сеянцев плодовых и ягодных растений S243, МПС-1.
Выкопка саженцев и рассады	Плуг выкопочный ВПН-2М

Для повышения эффективности производства вегетативного (микрклонального) посадочного материала перспективным представляется применение ультразвука при подготовке питательного раствора, используемого для укоренения и адаптации пробирочных растений. Ультразвуковая обработка позволит улучшить условия минерального питания, активировать процессы роста и развития растений, что приведет к увеличению частоты адаптации и снижению энергоемкости производства посадочного материала. Разработанная энергоэффективная технология производства посадочного материала плодово-ягодных культур предусматривает комплексное использование методов и технических средств электротехнологии в течение вегетационного процесса; улучшение условий минерального питания микрорастений за счет использования ультразвука при подготовке питательного раствора; совершенствование системы оценивания растений путем определения индексов вегетации, основанных на спектрально-оптических свойствах листового аппарата. К основным отличиям разработанной технологии относится применение ультразвука при подготовке питательного раствора, используемого на этапе адаптации растений к нестерильным условиям. Выявление стрессовых состояний растений в целях предотвращения потерь посадочного материала производилось путем определения вегетационных индексов. Перечисленные изменения, внесенные в технологическую схему, направлены на повышение эффективности производства вегетативного посадочного материала ежевики за счет создания условий, необходимых растениями для реализации потенциальных возможностей; повышения частоты адаптации; обеспечения качества посадочного материала; снижения энергоемкости производства [2; 3].

Разработанные технические средства, защищенные 3 патентами РФ, позволяют реализовать предложенную технологию. В предложенном варианте достигнуто увеличение выхода качественного посадочного материала на 13,5 %, что позволило снизить энергоемкость производства посадочного материала на 13,1 % [2; 3].

### **Список литературы**

1. *Инновационные технологии выращивания высококачественного посадочного материала многолетних плодово-ягодных культур: аналит. обзор.* – М.: ФГБНУ «Росинфорагротех», 2020. – 96с.

2. Басарыгина Е.М. *Электротехнологии и электрооборудование для микроклонального размножения растений* / Е.М. Басарыгина, Е.А. Колотыгина, Т.А. Путилова // *Материалы Национальной (Всероссийской) научной конференции Института агроинженерии. Под редакцией Н.С. Низамудиновой.* – Челябинск, 2022. – С. 192-196.

3. Басарыгина Е.М. *Технологии агропроизводства* / Е.М. Басарыгина, Т.А. Путилова, Е.А. Колотыгина [и др.] // *Материалы Международной научно-практической конференции Института агроинженерии.* – 2020. – С. 89-93.

## **МИКРОВОЛНОВОЕ СПЕКАНИЕ – ПЕРСПЕКТИВНАЯ ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ПОЛУЧЕНИЯ ГЛИНИСТОЙ КЕРАМИКИ**

И.А. Женжурист

Казанский государственный энергетический университет,  
г. Казань

**Аннотация.** Представлена информация о результатах микроволнового спекания глинистых композиций, физико-механических испытаний образцов различных составов. Показано влияние минерального состава и энергии разложения компонентов глинистой композиции на качество спекания в поле СВЧ. Даны рекомендации для получения бездефектных образцов из многокомпонентных глинистых масс. Отмечено влияние на качество спекания легкоплавких компонентов смеси, формирование при обжиге наноразмерных образований в структуре материала, объясняющих повышенные показатели прочности обожженных в условиях микроволнового спекания образцов по сравнению с образцами традиционного обжига. Исследована возможность и особенности глазурования в условиях микроволнового обжига.

Исследования в последние десятилетия показали, что отход от традиционного конвекционного обжига в технологии керамики позволяет решить ряд проблем, таких как отказ от использования органического топлива, возможность получения качественных образцов керамики из низкосортного глинистого сырья. Исследования различных композиций, в том числе на основе полиминерального глинистого сырья, показали принципиальную возможность использования микроволнового спекания для получения высокопрочной керамики [1-3].

Проблемой обжига многокомпонентных смесей в микроволновом электромагнитном поле является различная реакция каждого компонента смеси на поле СВЧ. Учитывая высокую скорость нагрева, это может приводить к деформационным процессам материала, возникновению дефектов образцов, вплоть до разрушения материала. Изучение особенностей обжига многокомпонентных образцов материала в таких жестких условиях имеет фундаментальное значение для технологии керамики и особенностей формирования структуры материала в условиях микроволнового нагрева.

Отличие механизма обжига материала в микроволновом электромагнитном поле от конвективного является начало процесса нагрева из внутренних слоев материала, что приводит к равномерному распространению температуры по объему образца, началу процесса между зернами структуры материала. Равномерности нагрева мешает различная реакция каждого компонента материала на электромагнитное поле. Предположение о том, что формирование жидкой фазы в межзерновом пространстве конгломерата может смягчить деформационные процессы при нагреве материала, необходимо было проверить на обжиге многокомпонентных составах, особенно глинистых композиций, поскольку глины сами являются многокомпонентными смесями с минералами, при разложении которых выделяется вода и различные кислотные оксиды. Проверке этого предположения были посвящены работы, ряд результатов экспериментальных работ которых представлены на рис. 1.

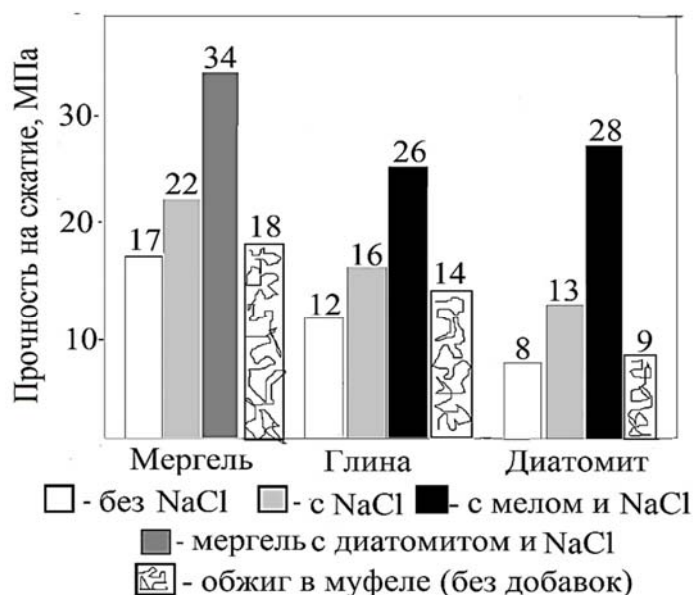


Рис. 1. Зависимость прочности образцов от состава и технологии обжига

В результате исследований было обнаружено, что на качество спекания оказывает влияние величина энергии разложения минеральной составляющей смеси в температурном диапазоне разложения глинистых минералов [1, 2]. Введение в состав глинистой смеси компонента, способствующего образованию жидкой фазы при нагреве, например, легкоплавкой соли или аморфного

кремнезема, приводит к снижению эндотермического эффекта разложения глинистых минералов и способствует нивелированию деформационных процессов нагрева и получению качественных, без дефектов, обожженных образцов. В результате получили равномерную, плотную, с наноразмерными включениями структуру материала [1-3].

В результате проведенных исследований была показана перспектива использования технологии микроволнового обжига глинистых композиций для таких направлений, как строительная керамика. Были проведены исследования по глазурованию керамики на основе легкоплавкой боросиликатной глазури [3]. Исследовали влияние состава подложки и аморфного кремнезема на качество глазурного покрытия (рис. 2).

Результаты испытаний показали возможность получения качественного глазурного покрытия на подложках разного минерального состава на основе фриттованной и нефриттованной глазури с использованием аморфного кремнезема

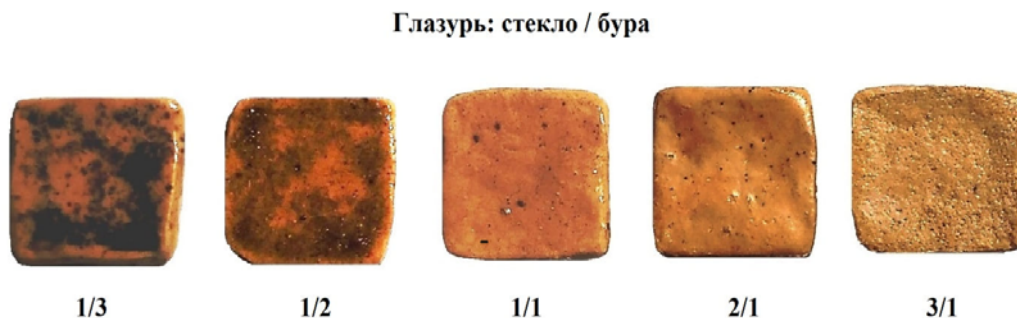


Рис. 2. Зависимость качества фриттованной глазури от соотношения стекло/бора [3]

Учитывая мировой опыт использования микроволнового электромагнитного поля для обжига керамики, необходимо проведение исследований в этом направлении, особенно в направлении аппаратного оформления технологического процесса. Перспективно применить технологию микроволнового спекания для получения материалов на основе отходов производства с большим содержанием стеклофазы, таких как золы, шлаки различных производств.

### Список литературы

1. Женжурист И.А. Влияние минерального состава глины на процесс спекания алюмосиликата в поле СВЧ / И.А. Женжурист // Неорганические материалы. – 2020. – Т. 56. – № 8. – С. 923-928.
2. Женжурист И.А. Влияние аморфного кремнезема на микроволновое спекание глинистого сырья и прочность керамического материала / И.А. Женжурист, Н.Н. Морозова // Известия вузов. Строительство. – 2025. – № 8. – С. 64-73.
3. Женжурист И.А. Влияние аморфного кремнезема на глазурование керамики в условиях микроволнового нагрева / И.А. Женжурист, Н.Н. Морозова // Известия вузов. Строительство. – 2025. – № 10. – С. 58-69.

# ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩАЯ СВЧ-ТЕХНОЛОГИЯ ПЕРЕРАБОТКИ СЛИЗИСТЫХ СУБПРОДУКТОВ КРС

Е.В. Воронов

Нижегородский государственный инженерно-экономический университет,  
г. Княгинино

**Аннотация.** В статье представлены результаты теоретических и экспериментальных исследований, направленных на оценку энергетической эффективности переработки слизистых субпродуктов крупного рогатого скота с применением управляемых СВЧ-технологий. Рассмотрены теплофизические особенности высоковлажного биологического сырья и выполнены расчёты теоретически минимально необходимой энергии нагрева при термической обработке. Показано, что при нагреве сырья от 10 до 95 °С теоретическая удельная энергия составляет 314,5 кДж/кг (0,087 кВт·ч/кг), тогда как фактические удельные энергозатраты традиционных технологий достигают 0,9–1,2 кВт·ч/кг. Установлено, что применение СВЧ-нагрева позволяет снизить удельное энергопотребление до 0,45–0,60 кВт·ч/кг, а при комбинированном СВЧ-УФ-озонном воздействии – до 0,35–0,45 кВт·ч/кг, одновременно сокращая продолжительность обработки в 4–6 раз. Рассчитан коэффициент энергетического использования и показано его увеличение в 2–3 раза по сравнению с традиционными методами. Оценён годовой энергосберегающий эффект, достигающий 240 тыс. кВт·ч при объёме переработки 400 т сырья в год. Полученные результаты подтверждают высокую энергоэффективность и практическую целесообразность внедрения управляемых СВЧ-технологий в процессы переработки слизистых субпродуктов КРС.

**Введение.** Современное развитие агропромышленного комплекса Российской Федерации сопровождается одновременным ростом объёмов переработки животноводческой продукции и ужесточением требований к энергетической эффективности технологических процессов. Особую актуальность в этом контексте приобретает проблема переработки слизистых субпродуктов крупного рогатого скота (КРС), характеризующихся высокой влажностью, сложной многослойной структурой тканей, значительной микробной обсеменённостью и выраженным специфическим запахом. Традиционные методы их термообработки – варка, паровая обработка, автоклавирование – отличаются высокой энергоёмкостью, длительностью процессов и значительными тепловыми потерями.

По данным статистических наблюдений, в Российской Федерации ежегодно образуется в среднем 25–27 тыс. тонн слизистых субпродуктов КРС, а в отдельных регионах – сотни тонн в год [1]. Переработка такого объёма сырья традиционными теплотехническими методами требует значительных затрат тепловой и электрической энергии, что негативно сказывается на себестоимости кормовой продукции и экономике фермерских хозяйств. В условиях роста тарифов на энергоресурсы проблема энергосбережения становится ключевым фактором конкурентоспособности перерабатывающих предприятий.

Одним из перспективных направлений снижения удельных энергозатрат является внедрение электротехнологических методов, основанных на использовании электромагнитного поля сверхвысокой частоты (СВЧ) [2–4]. СВЧ-нагрев обеспечивает объёмный подвод энергии непосредственно в толщу



водосодержащего сырья за счёт диэлектрических потерь, что позволяет резко сократить продолжительность термообработки и снизить паразитные тепловые потери [5-7]. Дополнительное повышение энергетической эффективности достигается при использовании коаксиальных резонаторов с замедляющими системами, обеспечивающих управляемое распределение электромагнитного поля, а также при реализации синергетического воздействия СВЧ-поля, ультрафиолетового излучения и озона.



Рис. 1. СВЧ-установка непрерывного действия с замедляющей системой для переработки слизистых субпродуктов КРС

Целью работы является комплексное обоснование энергосберегающего эффекта применения СВЧ-установки непрерывного действия с замедляющей системой для переработки слизистых субпродуктов КРС (рис. 1) [8] на основе анализа теоретических моделей, экспериментальных данных и расчётов удельных энергетических показателей.

**Материалы и методы исследования.** Объектом исследования являлись слизистые субпродукты крупного рогатого скота второй категории: рубец, сетка, книжка и сычуг (рис. 2). Исследуемое сырьё характеризовалось массовой долей влаги 78-85 %, относительной диэлектрической проницаемостью в диапазоне 45-70 и повышенными диэлектрическими потерями, что делает его эффективным поглотителем СВЧ-энергии.

Экспериментальные и расчётные исследования проводились для многогенераторной СВЧ-установки непрерывного действия с коаксиальным резонатором, оснащённым спиральной замедляющей системой. Установка включала три магнетрона промышленной частоты 2450 МГц, расположенные под углом  $120^\circ$  относительно оси резонатора, что обеспечивало пространственную стабилизацию электромагнитного поля.

Коаксиальный резонатор представлял собой металлическую цилиндрическую камеру с внутренним проводником, внутри которой размещалась спиральная замедляющая система, являющаяся одновременно транспортирующим шнеком. Такая конструкция обеспечивала одновременное

перемещение сырья и формирование устойчивой продольной моды электромагнитного поля.



Рис. 2. Камеры желудка крупного рогатого скота: 1 – рубец; 2 – книжка; 3 – сетка; 4 – сычуг

Для традиционных методов термообработки использовались расчёты теплового баланса, учитывающие нагрев воды, пара, стенок оборудования и тепловые потери в окружающую среду. Для СВЧ-установки учитывалась только потребляемая электрическая мощность магнетронов и вспомогательных систем.

Дополнительно анализировался коэффициент синергии комбинированного СВЧ-УФ-озонного воздействия, определяемый как отношение энергетического эффекта комбинированного процесса к сумме эффектов отдельных воздействий.

**Результаты исследования.** Результаты проведённых теоретических и экспериментальных исследований позволили количественно оценить энергетическую эффективность процессов переработки слизистых субпродуктов крупного рогатого скота и установить выраженный энергосберегающий эффект применения управляемых СВЧ-технологий по сравнению с традиционными теплотехническими методами. Слизистые субпродукты КРС относятся к высоковлажному биологическому сырью, массовая доля влаги в котором составляет 80–85 %, что обуславливает повышенные значения удельной теплоёмкости. Согласно литературным данным и экспериментальным измерениям, удельная теплоёмкость данного вида сырья составляет  $c = 3,6–3,8$  кДж/(кг·К).

Теоретически необходимое количество энергии для нагрева 1 кг сырья от начальной температуры  $T_0$  до температуры термообработки  $T_k$  определяется выражением

$$Q_{теор} = c \cdot (T_k - T_0), \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}, \quad (1)$$

где:  $c$  – удельная теплоёмкость данного вида сырья, кДж/(кг·К);  $c = 3,6–3,8$  кДж/(кг·К);  $T_0$  – начальная температура, °С;  $T_k$  – температура термообработки, °С.



При  $T_0 = 10\text{ }^{\circ}\text{C}$  и  $T_k = 95\text{ }^{\circ}\text{C}$  разность температур составляет

$$\Delta T = T_k - T_0 = 85\text{ K}, \quad (2)$$

Так как разница температур в  $^{\circ}\text{C}$  и в  $\text{K}$  равна.

Подстановка среднего значения теплоёмкости дает

$$Q_{теор} = c \cdot \Delta T = 3,7 \cdot 85 = 314,5 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}},$$

что в пересчёте на электрическую энергию составляет

$$Q_{теор} = \frac{314,5}{3600} = 0,087 \frac{\text{кВт} \cdot \text{ч}}{\text{кг}}.$$

Полученное значение характеризует физически минимально необходимую энергию нагрева без учёта тепловых потерь. Фактические удельные энергозатраты традиционных теплотехнических процессов переработки слизистых субпродуктов КРС определяются по энергетическому балансу

$$E_{\phi} = \frac{Q_{подв}}{m}, \frac{\text{кВт} \cdot \text{ч}}{\text{кг}}, \quad (3)$$

где  $Q_{подв}$  – суммарная подведённая энергия,  $\text{кВт} \cdot \text{ч}$ ;  $m$  – масса перерабатываемого сырья,  $\text{кг}$ .

Экспериментальные и производственные данные показывают, что при варке и паровой обработке фактические удельные энергозатраты находятся в диапазоне  $E_{\phi} = 0,9\text{--}1,2 \text{ кВт} \cdot \text{ч}/\text{кг}$ , что свидетельствует о крайне низком коэффициенте полезного использования подводимой энергии.

В условиях СВЧ-термообработки энергия подводится непосредственно в объём сырья за счёт диэлектрических потерь, что принципиально изменяет энергетический баланс процесса. Удельные энергозатраты СВЧ-процесса определяются выражением

$$E_{уд} = \frac{P_{\Sigma} \cdot \tau}{m}, \frac{\text{кВт} \cdot \text{ч}}{\text{кг}}, \quad (4)$$

где:  $P_{\Sigma}$  – суммарная потребляемая электрическая мощность СВЧ-установки,  $\text{Вт}$ ;  $P_{\Sigma} = 15 \text{ кВт}$ ;  $\tau$  – время обработки,  $\text{ч}$ ;  $\tau = 0,33 \text{ ч}$ ;  $m$  – масса,  $\text{кг}$ ;  $m = 10 \text{ кг}$ .

Для количественной оценки эффективности использования подводимой энергии введён коэффициент энергетического использования

$$\eta_{эн} = \frac{Q_{теор}}{E_{уд}}, \quad (5)$$

который для СВЧ-процесса принимает значение

$$\eta_{эн} = \frac{0,087}{0,495} = 0,176.$$

Для традиционных технологий при  $E_{\phi} \approx 1 \text{ кВт} \cdot \text{ч}/\text{кг}$  аналогичный коэффициент составляет

$$\eta_{эн,тр} = \frac{0,087}{1,0} = 0,087.$$

Применение СВЧ-нагрева обеспечивает увеличение коэффициента энергетического использования в 2-2,2 раза. Дополнительное снижение энергопотребления достигается за счёт применения коаксиального резонатора со спиральной замедляющей системой, увеличивающей эффективное время взаимодействия электромагнитного поля с материалом и обеспечивающей более полное поглощение СВЧ-энергии. Экспериментальные данные показывают, что использование замедляющей системы позволяет снизить установленную мощность СВЧ-установки на 15-20 % без снижения производительности. Реализация комбинированного СВЧ-УФ-озонного воздействия сопровождается выраженным синергетическим эффектом, позволяющим дополнительно сократить продолжительность обработки и подводимую СВЧ-мощность на 20-30 % при сохранении требуемых санитарных показателей.

Практическая значимость полученных результатов проявляется при расчёте годовой экономии электроэнергии, которая определяется выражением

$$\Delta E_{год} = (E_{тр} - E_{СВЧ}) \cdot M, \frac{кВт \cdot ч}{год}, \quad (6)$$

где:  $E_{тр}$  – удельные энергозатраты традиционной технологии переработки сырья, кВт·ч/кг;  $E_{тр} = 1,0$  кВт·ч/кг;  $E_{СВЧ}$  – удельные энергозатраты СВЧ-технологии переработки сырья, кВт·ч/кг;  $E_{СВЧ} = 0,4$  кВт·ч/кг;  $M$  – годовой объём переработки сырья, кг;  $M = 400000$  кг.

Годовая экономия электроэнергии составляет

$$\Delta E_{год} = (1,0 - 0,4) \cdot 400000 = 240000 \frac{кВт \cdot ч}{год}.$$

Полученные результаты подтверждают, что управляемые СВЧ-технологии переработки слизистых субпродуктов КРС обладают выраженным энергосберегающим потенциалом, обусловленным объёмным характером электромагнитного нагрева, снижением тепловых потерь и оптимизацией электродинамических параметров резонаторных систем.

**Заключение.** В результате выполненных теоретических и экспериментальных исследований установлено, что применение управляемых СВЧ-технологий при переработке слизистых субпродуктов крупного рогатого скота позволяет существенно повысить энергетическую эффективность процесса по сравнению с традиционными теплотехническими методами. Проведённые расчёты показали, что теоретически минимально необходимое количество энергии для нагрева 1 кг сырья от начальной температуры 10 °С до температуры термообработки 95 °С составляет 314,5 кДж/кг, что эквивалентно 0,087 кВт·ч/кг. Данное значение характеризует физический предел энергопотребления, определяемый теплофизическими свойствами сырья, и служит базой для оценки эффективности реальных технологических процессов.

Анализ традиционных способов термической обработки (варка, паровая обработка) показал, что фактические удельные энергозатраты находятся в диапазоне 0,9-1,2 кВт·ч/кг, что в 10-14 раз превышает теоретически

необходимый уровень. Основными причинами такого расхождения являются значительные тепловые потери при нагреве теплоносителя, конструктивных элементов оборудования и окружающей среды, а также длительная продолжительность процессов, достигающая 60-120 мин.

Установлено, что при использовании СВЧ-термообработки удельные энергозатраты снижаются до 0,45-0,60 кВт·ч/кг, а при реализации комбинированного СВЧ-УФ-озонного воздействия – до 0,35-0,45 кВт·ч/кг. При этом продолжительность обработки сокращается в 4-6 раз. Коэффициент энергетического использования процесса возрастает с 0,07-0,09 для традиционных технологий до 0,15-0,18 для СВЧ-нагрева и до 0,20-0,25 при комбинированном воздействии.

Расчёты годового энергосберегающего эффекта показали, что при годовом объёме переработки 400 000 кг сырья переход от традиционной технологии к СВЧ-процессу обеспечивает экономию порядка 240 000 кВт·ч электроэнергии в год, что эквивалентно снижению энергопотребления на 55-60 %. Дополнительное использование резонаторных систем с замедляющей структурой позволяет снизить установленную мощность оборудования на 15-20 % без потери производительности.

Полученные результаты подтверждают целесообразность внедрения управляемых СВЧ-технологий переработки слизистых субпродуктов КРС как эффективного энергосберегающего решения, обеспечивающего снижение удельных энергозатрат, сокращение продолжительности технологического цикла и повышение общей энергетической эффективности производства.

### Список литературы

1. *Российский рынок субпродуктов крупного рогатого скота [Электронный ресурс] Tk-solutions.ru -solutions.ru > russia-rynok-subproduktov (дата обращения 20.12.2025).*
2. *Михайлова О.В., СВЧ-установки для термообработки яиц / О.В. Михайлова, М.В. Просвирякова, О.И. Орлова, И.А. Сорокин, П.Н. Романов. – Москва, 2025. – EDN: SEDSKY.*
3. *Тихонов А.А. Радиогерметичный плавитель жирового сырья непрерывно-поточного действия с СВЧ энергоподводом / А.А. Тихонов, Н.Н. Романюк, О.В. Михайлова, М.В. Просвирякова, М.Е. Федоров, Д.Д. Коршиков // В сборнике: Современные тенденции развития сельскохозяйственного машиностроения и технического сервиса в АПК. Материалы Международной научно-практической конференции, посвященной 25-летию образования факультета «Технический сервис в АПК». – Минск, 2025. – С. 278-285.*
4. *Просвирякова М.В. Особенности разработки установок с СВЧ энергоподводом для переработки сырья агропредприятий / М.В. Просвирякова, Г.В. Новикова, В.Ф. Сторчевой, А.В. Шевелев // Вестник НГИЭИ. – 2022. – № 12 (139). – С. 54-65.*
5. *Горячева Н.Г. Оценка изменения физико-химических и органолептических характеристик шишек хмеля под влиянием СВЧ-облучения / Н.Г. Горячева, О.В. Михайлова, М.В. Просвирякова // В сборнике: Будущее науки:*

взгляд молодых ученых на инновационное развитие общества. Сборник научных статей 3-й Всероссийской молодежной научной конференции. В 3-х томах. – Курск, 2025. – С. 476-479.

6. Шевелев А.В. Оптимизация технологических параметров и режимов работы СВЧ-воскотопки с полусферическими резонаторами / А.В. Шевелев, О.В. Михайлова, М.В. Просвирякова, В.В. Коновалов // Вестник НГИЭИ. – 2025. – № 5 (168). – С. 53-67.

7. Горячева Н.Г. СВЧ-конвективная хмелесушилка непрерывно-поточного действия с цилиндрическими барабанами-резонаторами для повышения качества и энергоэффективности сушки хмеля / Н.Г. Горячева, О.В. Михайлова, М.В. Просвирякова, И.А. Сорокин // Вестник НГИЭИ. – 2025. – № 9 (172). – С. 54-66.

8. Патент РФ № 2829166 С1. СВЧ-установка с коаксиальным спиральным резонатором для термообработки вторичного мясного сырья. – Бюл. № 30 от 24.10.2024.

## **ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ КАК ОСНОВА ЦИФРОВОЙ ТРАНСФОРМАЦИИ ПРОИЗВОДСТВЕННОГО КОМПЛЕКСА АО «БЭЛЭНЕРГОМАШ – БЗЭМ»**

А.С. Васильченко, Н.Э. Левина

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова,  
г. Белгород

**Аннотация.** В статье представлена концепция цифровой трансформации производственного комплекса АО «Белэнергомаш – БЗЭМ» на основе внедрения современных информационных технологий. Выявлены ключевые проблемы текущей ИТ-среды. Делается вывод, что именно информационные технологии, а не отдельные станки или роботы, становятся ключевым фактором технологического лидерства в современном тяжелом машиностроении.

**Ключевые слова:** информационные технологии, цифровая трансформация, БЗЭМ, PLM-система, MES-система, промышленный интернет вещей (IIoT), цифровой двойник, сквозная цифровая нить (Digital Thread), управление жизненным циклом изделия.

В условиях Четвертой промышленной революции ключевым драйвером конкурентоспособности промышленных предприятий становятся не отдельные станки или роботы, а комплексные информационные технологии, формирующие цифровую среду для принятия решений. Для АО «Белэнергомаш – БЗЭМ», ведущего производителя высокотехнологичного оборудования для атомной и тепловой энергетики, внедрение таких технологий является стратегическим императивом для повышения качества, гибкости и управляемости процессов. Цифровая трансформация позволяет перейти от изолированных «островков» автоматизации к единой информационно-управляющей экосистеме, связывающей все этапы жизненного цикла изделия – от проектирования до эксплуатации у заказчика.

## **1. Диагностика текущего состояния информационной среды и ключевые вызовы**

Несмотря на наличие автоматизированных рабочих мест и систем учета, текущая ИТ-инфраструктура БЗЭМ характеризуется фрагментарностью, что создает ряд системных проблем:

1. Разрозненность данных и систем.
2. «Информационный вакуум» на производстве.
3. Ограниченные возможности прогнозирования и оптимизации.
4. Сложности с прослеживаемостью продукции.

Таким образом, ключевым вызовом является не столько внедрение нового «железа», сколько создание интегрированной цифровой платформы, обеспечивающей поток корректных данных между всеми участниками производства.

## **2. Стратегические направления внедрения информационных технологий**

Для преодоления выявленных проблем предлагается реализовать многоуровневую ИТ-архитектуру, основанную на следующих компонентах:

1. Внедрение системы управления жизненным циклом изделия (PLM) как единого источника истины.
2. Развертывание производственной исполнительной системы (MES) как «цифрового цеха».
3. Создание цифровых двойников (Digital Twin) критических процессов и оборудования.
4. Интеграция систем CAD/CAM/CAE и IIoT в единый контур.

## **3. Ожидаемые результаты и пути реализации**

Внедрение предложенного комплекса ИТ позволит достичь качественного скачка в управлении производством:

- Повышение операционной эффективности.
- Улучшение управляемости и прогнозируемости.
- Создание новых бизнес-моделей.
- Усиление конкурентных преимуществ.

Реализация должна носить поэтапный характер, начиная с пилотного проекта на одном ключевом направлении (например, создание цифрового двойника сварочного процесса). Критически важным является параллельная работа по обучению персонала и изменению организационных процедур, так как внедрение ИТ – это, в первую очередь, управленческий и кадровый проект.

Информационные технологии перестают быть вспомогательным инструментом и превращаются в основу производственной системы современного предприятия. Для АО «Белэнергомаш – БЗЭМ» построение интегрированной цифровой экосистемы на основе PLM, MES, IIoT и цифровых двойников является безальтернативным путем к повышению технологического суверенитета, качества продукции и глобальной конкурентоспособности. Успех цифровой трансформации будет зависеть от системного подхода, рассматривающего технологии, процессы и людей как единое целое, и от

эффективного партнерства с научно-образовательными центрами, такими как БГТУ им. В.Г. Шухова, в подготовке кадров для экономики данных.

### Список литературы

1. Кагерманн Х., Вальстер В., Хелъбиг Й. Рекомендации по реализации стратегической инициативы «Индустрия 4.0»: Итоговый отчет рабочей группы. Франкфурт: Национальная академия наук и техники, 2013. – 82 с.
2. Старк Дж. Управление жизненным циклом продукта (Том 1): Парадигма XXI века для реализации продуктов. 4-е изд. Springer, 2020. – 514 с.
3. ISA-95. Enterprise-Control System Integration. Часть 3: Модели деятельности производства. Международное общество автоматизации, 2021.
4. Гриев М., Розен Р., Штеттнер Ф. Цифровые двойники: Концепции и коммерческая реализация. В кн.: Трансформация производства в цифровую эпоху. Шпрингер, 2021. – С. 3-17.
5. Роботы и искусственный интеллект в промышленности: глобальные тренды и возможности для России: аналитический доклад / под ред. А.В. Куренкова. М.: НИУ ВШЭ, 2022. – 156 с.
6. Майер Ш., Рам М. Разработка и внедрение MES-систем: Практическое руководство. М.: ДМК Пресс, 2019. – 320 с.
7. Industrial Internet of Things (IIoT) Security Framework. Industrial Internet Consortium, 2022.

## КОТЛЫ-УТИЛИЗАТОРЫ КАК БАЗОВЫЙ ЭЛЕМЕНТ ЭКОЛОГИЧЕСКИ ЧИСТЫХ ПРОМЫШЛЕННЫХ СИСТЕМ

Н.Э. Левина, А.С. Васильченко

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова,  
г. Белгород

**Аннотация.** В статье обоснована роль котлов-утилизаторов как классического примера экологически чистой промышленной технологии, трансформировавшейся из узкого энергосберегающего решения в системный элемент низкоуглеродной экономики. Сделан вывод, что экономическая эффективность и высокий природоохранный потенциал делают технологию котлов-утилизаторов ключевым инструментом декарбонизации и перехода к циркулярным моделям в энергоемких отраслях промышленности.

**Ключевые слова:** экологически чистые технологии, котел-утилизатор, декарбонизация промышленности, утилизация тепловых выбросов, низкоуглеродная экономика, циркулярная экономика, промышленная экология, мембранные экраны.

В контексте глобальных экологических вызовов и перехода к низкоуглеродной экономике особую актуальность приобретают технологии, обеспечивающие не только энергосбережение, но и комплексное снижение антропогенной нагрузки на окружающую среду. Традиционно промышленность рассматривается как основной источник тепловых выбросов и потерь: до 40 % тепловой энергии технологических процессов рассеивается в атмосферу с отходящими газами [1]. Внедрение котлов-утилизаторов позволяет

трансформировать эту проблему в ресурс, реализуя принцип циркулярной экономики «отходы в энергию». Данная технология, эволюционировавшая от простых теплоутилизаторов до интеллектуальных энергетических комплексов, является ярким примером экологически чистого технологического решения, сочетающего ресурсосбережение, экономическую эффективность и минимизацию эмиссий.

### **1. Экологический императив как драйвер технологической эволюции**

Историческое развитие котлов-утилизаторов демонстрирует четкую корреляцию с ужесточением экологических требований. Если первые установки 1959-1960-х годов, созданные, в том числе, на АО «Белэнергомаш – БЗЭМ», решали в первую очередь задачу прямой экономии топлива [2], то современные поколения КУ проектируются как элемент комплексных природоохранных систем.

Первое поколение (до 1970-х гг.): Фокус на ресурсосбережение.

Второе поколение (1970-1990-е гг.): Стандартизация и повышение эффективности.

Третье (современное) поколение (2000-е гг. – по н.в.): Интеграция в «зеленые» технологические цепочки.

Таким образом, эволюция КУ представляет собой путь от локального энергосберегающего устройства к системообразующему элементу экологически чистой промышленной инфраструктуры.

### **2. Технологические инновации, усиливающие экологический эффект**

Современное производство КУ базируется на технологиях, которые сами по себе соответствуют критериям чистого производства.

1. Блочно-модульный принцип. Изготовление крупных узлов в заводских условиях (опыт с 1955 г.) с последующей быстрой сборкой на площадке заказчика сокращает сроки монтажа на 30-40 %. Это напрямую снижает экологический след строительно-монтажных работ.

2. Автоматизированное изготовление ключевых элементов. Внедрение линии автоматической сварки мембранных панелей под флюсом (2018-2019 гг.) обеспечивает не только высочайшее качество и производительность, но и радикальное сокращение производственного брака. Меньше брака – меньше некондиционного металлолома и перерасхода энергии и материалов на переделку, что является краеугольным камнем чистых технологий [4].

3. Применение специализированных материалов. Использование сталей, легированных хромом, молибденом, никелем, позволяет увеличить межремонтный ресурс оборудования в агрессивных средах. Более долгий срок службы означает меньшее потребление материалов на замену и ремонт в течение жизненного цикла, что снижает общую ресурсоемкость технологии [5].

4. Системная интеграция и цифровизация. Современные КУ проектируются с использованием цифровых двойников, что позволяет оптимизировать тепловые и гидравлические режимы еще на стадии проектирования, исключая неэффективные эксплуатационные режимы, ведущие к перерасходу топлива и повышенным выбросам.

### **3. Количественная оценка экологического вклада**

Эффективность КУ как чистой технологии подтверждается конкретными показателями:

Снижение выбросов CO<sub>2</sub>.

Сокращение теплового загрязнения.

Экономия водных ресурсов.

Синергия с другими природоохранными технологиями.

Котлы-утилизаторы прошли путь от вспомогательного энергосберегающего оборудования до ключевого компонента экологически чистых промышленных систем. Их развитие наглядно иллюстрирует, как экологические требования становятся драйвером технологических инноваций – от материаловедения до цифрового проектирования и роботизации производства.

#### **Список литературы**

1. *International Energy Agency (IEA). World Energy Outlook 2023. Paris: IEA Publications, 2023.*
2. *Исторические материалы АО «Белэнергомаш – БЗЭМ». Архив предприятия. 1959-2023 гг.*
3. *Котлы-утилизаторы: теория, расчет и проектирование / Под ред. В.А. Локшина. – М.: Энергоатомиздат, 1988.*
4. *Михайлов Д.Р. Автоматизация сварочных процессов в энергомашиностроении / Д.Р. Михайлов, С.П. Орлов // Сварочное производство. – 2020. – № 7. – С. 34-39.*
5. *Лобанов Л.М. Новые стали для энергетического оборудования / Л.М. Лобанов, П.И. Сухоруков // Теплоэнергетика. 1998. – № 5. – С. 45-49.*
6. *Петров В.С. Экономическая оценка эффективности котлов-утилизаторов в промышленности / В.С. Петров, М.А. Сидоров // Энергосбережение. – 2021. – № 3. – С. 22-28.*
7. *Голубенков А.И. Технология изготовления котлов и аппаратов высокого давления / А.И. Голубенков, В.П. Демин, Ю.А. Корнеев. – М.: Машиностроение, 1980.*
8. *International Federation of Robotics (IFR). World Robotics 2022 – Industrial Robots. Frankfurt, 2022.*

### **РОБОТИЗАЦИЯ КОТЕЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА КАК ФАКТОР ВНЕДРЕНИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКИ ЧИСТЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В ЭНЕРГЕТИКЕ**

Н.Э. Левина, А.С. Васильченко

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова,  
г. Белгород

**Аннотация.** В статье рассматривается внедрение промышленной робототехники в котельное производство с позиции экологически чистой технологии. Доказано, что роботизация ключевых процессов – сварки, сборки и контроля качества – обеспечивает не



*только повышение экономической эффективности, но и значительный экологический эффект. Делается вывод о том, что роботизация является стратегическим направлением для перехода к «зелёному» производству в энергетическом машиностроении, сочетая в себе технологическую модернизацию и снижение антропогенной нагрузки на окружающую среду.*

**Ключевые слова:** экологически чистые технологии, промышленная робототехника, котельное производство, роботизированная сварка, ресурсосбережение, минимизация отходов, цифровые двойники, энергоэффективность.

Современные экологические вызовы требуют перехода к «зеленой» экономике, где ключевую роль играют не только использование возобновляемых источников энергии, но и внедрение экологически чистых технологий на всех этапах жизненного цикла энергетического оборудования. Производство высокоэффективных котлов-утилизаторов и энергетических котлов, являющихся основой для снижения выбросов и повышения КПД ТЭЦ, само по себе должно соответствовать принципам устойчивого развития. Традиционное котельное производство, характеризующееся значительным объемом ручного труда, высоким процентом брака и ресурсоемкостью, становится узким местом в этой цепи. Внедрение промышленной робототехники представляет собой стратегическую экологически чистую технологию, кардинально меняющую производственный ландшафт за счет минимизации отходов, экономии энергии и материалов.

## **1. Экологический потенциал роботизации в производстве энергооборудования**

Котельное производство включает критически важные для экологии этапы, где автоматизация дает прямой «зеленый» эффект:

1. Сварка мембранных экранов и трубных пучков – наиболее материалоемкая операция. Ручная сварка часто приводит к неравномерному провару, пористости швов и последующим утечкам теплоносителя в эксплуатации, что снижает КПД котла и ведет к перерасходу топлива.

2. Сборка и обработка крупногабаритных элементов – неоптимальное позиционирование и подгонка ведут к механическим напряжениям и снижению долговечности оборудования, ускоряя его выход из строя и увеличивая объемы металлолома.

3. Контроль качества – недостаточный контроль на производственной стадии ведет к выявлению дефектов уже на объекте, что требует дополнительных ремонтных работ, транспортировки и ресурсов.

## **2. Роботизированные комплексы как инструмент «зеленого» производства**

Внедрение специализированных систем прямо способствует достижению целей чистых технологий:

1. Роботизированные сварочные комплексы. Используя синергетические режимы и адаптивное управление, они оптимизируют расход сварочных материалов и электроэнергии на 15-20 %.

2. Роботизированные системы неразрушающего контроля. Их применение позволяет выявлять внутренние дефекты на ранней стадии, предотвращая сборку и отгрузку бракованных узлов.

3. Системы машинного зрения и коллаборативные роботы на сборке. Они обеспечивают точную подгонку деталей без необходимости механической доработки, сокращая количество металлической стружки и пыли – вторичных отходов производства.

### **3. Синергия робототехники и цифровых «зеленых» технологий**

Максимальный экологический эффект достигается при интеграции роботов в единую цифровую среду:

- Цифровые двойники сварочных и сборочных процессов позволяют виртуально оптимизировать технологию, подбирая режимы с минимальным энергопотреблением и наилучшим качеством, до начала реального производства.
- Генерация управляющих программ напрямую из CAD-моделей (PLM/CAD-системы) исключает ошибки и нерациональную раскройку металла, способствуя безотходному проектированию.
- Адаптивные системы на основе ИИ в реальном времени корректируют параметры сварки в ответ на изменения геометрии, что гарантирует отсутствие брака и перерасхода материалов даже при работе с крупногабаритными изделиями.

#### **Экономико-экологическое обоснование**

Внедрение робототехники демонстрирует синергию экономической и экологической эффективности:

- Снижение себестоимости на 15-25 % достигается в первую очередь за счет экономии материалов и энергии, что является прямой характеристикой чистой технологии.
- Сокращение производственного брака на 60-80 % – это не только экономия, но и радикальное уменьшение отходов производства.
- Повышение качества и долговечности конечного продукта (котла) ведет к увеличению его КПД, снижению эксплуатационных выбросов и топливной эффективности на протяжении всего жизненного цикла (20-30 лет).

#### **Список литературы**

1. Локишин В.А. Современные тенденции развития котельного производства / В.А. Локишин, П.И. Сухоруков // Теплоэнергетика. – 2020. – № 8. – С. 45-52.
2. Техническая документация линии автоматической сварки мембранных панелей АО «Белэнергомаш – БЗЭМ». Белгород, 2019.
3. Михайлов Д.Р. Автоматизация сварочных процессов в котлостроении / Д.Р. Михайлов, С.П. Орлов // Сварочное производство. – 2020. – № 7. – С. 34-39.
4. Клименко А.В. Роботизированные системы в тяжелом машиностроении / А.В. Клименко. – М.: Машиностроение, 2019.

# ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИЕ ТЕХНОЛОГИИ КАК ОСНОВА ИННОВАЦИОННОГО РАЗВИТИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО МАШИНОСТРОЕНИЯ НА ПРИМЕРЕ БЗЭМ

А.С. Васильченко, Н.Э. Левина

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова,  
г. Белгород

***Аннотация.** В статье предложена комплексная стратегия внедрения энергосберегающих технологий на Белгородском заводе энергетического машиностроения (БЗЭМ), направленная на решение двойной задачи: снижение энергопотребления собственного производства и разработку инновационной энергоэффективной продукции. Реализация данной стратегии позволит БЗЭМ не только значительно сократить затраты, но и укрепить свои рыночные позиции как производителя современных энергосберегающих решений.*

***Ключевые слова:** энергосберегающие технологии, энергетическое машиностроение, БЗЭМ, рекуперация энергии, роботизация производства, цифровой энергомониторинг, энергоэффективное оборудование, вторичные энергоресурсы.*

В условиях глобального роста цен на энергоносители и ужесточения экологических требований, внедрение энергосберегающих технологий становится ключевым фактором конкурентоспособности промышленных предприятий. Особенно актуально это для энергетического машиностроения, которое должно не только производить оборудование для генерации и сбережения энергии, но и само минимизировать свое энергопотребление. Белгородский завод энергетического машиностроения (БЗЭМ) как крупный производитель котельного, теплообменного и трубопроводного оборудования сталкивается с двойной задачей: повышение энергоэффективности собственных производственных процессов и создание инновационной продукции, позволяющей заказчикам снижать энергозатраты.

## 1. Диагностика энергетических потерь и потенциал экономии на производстве

Проведенный анализ энергопотребления основных переделов БЗЭМ выявил значительный потенциал для экономии, достигающий 25-30 % от текущих затрат [1]. Основными источниками нерационального расхода энергии являются:

1. Морально и физически устаревшее оборудование.
2. Неоптимизированные технологические процессы.
3. Потери в системах энергоснабжения и освещения.
4. Низкий уровень утилизации вторичных энергоресурсов (ВЭР).

Таким образом, внедрение энергосберегающих технологий на производстве БЗЭМ – это не только способ снижения затрат, но и необходимое условие для повышения технологической культуры и создания продукции с улучшенными энергетическими характеристиками.

## **2. Инновационные энергосберегающие технологии для модернизации производства**

В качестве приоритетных направлений модернизации предлагается внедрение следующих технологий, обеспечивающих прямой и быстрый эффект экономии:

1. Роботизированные и гибкие автоматизированные комплексы.
2. Системы рекуперации вторичных энергоресурсов.
3. Цифровые системы мониторинга и управления энергопотреблением (Energy Management System – EnMS).
4. Переход на энергоэффективные системы освещения и электропривода.

## **3. Создание новой линейки энергосберегающей продукции**

Технологическая модернизация производства создает основу для разработки и выпуска инновационной продукции с повышенными показателями энергоэффективности:

1. Котлы-утилизаторы нового поколения.
2. Теплообменное оборудование с улучшенными характеристиками.
3. Интеллектуальные системы управления энергооборудованием.

Внедрение комплексной программы энергосберегающих технологий на Белгородском заводе энергетического машиностроения представляет собой стратегическую инициативу с мультипликативным эффектом. Прямая экономия энергоресурсов на 25-30 % за счет модернизации производства, рекуперации ВЭР и цифрового управления снизит себестоимость продукции и повысит рентабельность. Одновременно это создаст технологический задел для разработки нового поколения энергоэффективного оборудования, что усилит конкурентные позиции БЗЭМ на внутреннем и международном рынках.

Ключевыми факторами успеха являются системный подход, поэтапное внедрение, инвестиции в современное оборудование и развитие компетенций персонала в области энергоменеджмента. Интеграция с научно-образовательной базой БГТУ им. В.Г. Шухова позволит ускорить процессы НИОКР и подготовку кадров. Таким образом, энергосбережение становится не просто статьей экономии затрат, а драйвером полной технологической трансформации предприятия, ведущей к созданию современного, конкурентоспособного и устойчивого производства.

## **Список литературы**

1. *Государственная программа Российской Федерации «Энергоэффективность и развитие энергетики». Утверждена постановлением Правительства РФ от 15.04.2014 № 321 (в ред. от 24.12.2022).*
2. *Рекомендации по использованию вторичных энергетических ресурсов в промышленности / Под ред. С.В. Казакова. – М.: НИИЭС, 2020. – 145 с.*
3. *Михайлов Д.Р. Автоматизация сварочных процессов в энергомашиностроении / Д.Р. Михайлов, С.П. Орлов // Сварочное производство. – 2020. – № 7. – С. 34-39.*

4. Прокофьев В.Л. Энергосбережение в системах сжатого воздуха / В.Л. Прокофьев, А.Н. Семенов. – СПб.: Политехника, 2019. – 210 с.

5. Старк Дж. Управление жизненным циклом продукта (Том 1): Парадигма XXI века для реализации продуктов / Дж. Старк. 4-е изд. Springer, 2020. – 514 с.

6. Кагерманн Х. Рекомендации по реализации стратегической инициативы «Индустрия 4.0»: Итоговый отчет рабочей группы Industrie 4.0 / Х. Кагерманн, В. Вальстер, Й. Хельбиг. Франкфурт: Национальная академия наук и техники, 2013. – 82 с.

7. Министерство энергетики РФ. Доклад о состоянии энергосбережения и повышения энергетической эффективности в Российской Федерации за 2022 год. – М., 2023. – 98 с.

## ТЕКУЩЕЕ СОСТОЯНИЕ С ЕЖЕГОДНОЙ АКТУАЛИЗАЦИЕЙ СХЕМ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ В НАСЕЛЕННЫХ ПУНКТАХ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Е.С. Иванова

Белгородский государственный университет им. В.Г. Шухова,  
ОГБУ «Центр энергосбережения Белгородской области»,  
г. Белгород

**Аннотация.** Работа посвящена анализу процессов ежегодной актуализации схем теплоснабжения (СТ) в муниципальных образованиях Российской Федерации. В документе рассматривается нормативно-правовая база, регламентирующая данную деятельность, оценивается текущий уровень исполнительской дисциплины муниципальных образований, выявляются ключевые технические и организационные проблемы, а также анализируются тенденции цифровизации отрасли. Особое внимание уделено качеству разрабатываемых электронных моделей и их соответствию реальным физическим процессам в системах централизованного теплоснабжения (СЦТ).

### Введение

Схема теплоснабжения является основным предпроектным документом, определяющим стратегию развития и функционирования систем теплоснабжения поселений, городских округов и городов федерального значения на долгосрочную перспективу (как правило, 15 лет). В соответствии с Федеральным законом от 27.07.2010 № 190-ФЗ «О теплоснабжении», актуализация схемы должна производиться ежегодно. Это требование продиктовано необходимостью учета изменений в градостроительной ситуации, техническом состоянии оборудования, фактических тепловых нагрузках и тарифных последствиях.

Актуализация схемы теплоснабжения – это не просто формальное обновление дат в документе, а сложный инженерно-экономический процесс, направленный на обеспечение надежности, качества и экономической эффективности теплоснабжения потребителей [3]. В условиях высокой степени

износа основных фондов коммунальной инфраструктуры в РФ, качественная актуализация СТ становится критически важным инструментом для планирования инвестиций и предотвращения аварийных ситуаций.

### **Нормативно-правовая база и методология**

Основой для разработки и актуализации схем теплоснабжения служит ряд нормативных актов, формирующих жесткий регламент действий для органов местного самоуправления (ОМСУ) и теплоснабжающих организаций (ТСО).

Ключевым документом является Постановление Правительства РФ от 22.02.2012 № 154 «О требованиях к схемам теплоснабжения, порядку их разработки и утверждения». Данный документ детально описывает структуру схемы, состав утверждаемой части и обосновывающих материалов. В последние годы в Постановление вносились изменения, направленные на усиление роли единой теплоснабжающей организации (ЕТО) и уточнение требований к электронным моделям.

Методические рекомендации по разработке схем, утвержденные приказом Минэнерго России и Минстроя России, устанавливают технические требования к расчетам гидравлических и тепловых режимов, определению радиуса эффективного теплоснабжения и выбору оптимального сценария развития.

Важно отметить иерархию документов территориального планирования. Схема теплоснабжения должна строго соответствовать Генеральному плану поселения. Любые расхождения в прогнозах ввода жилого фонда между Генпланом и Схемой теплоснабжения ведут к ошибочным техническим решениям – либо к дефициту мощности, либо к созданию избыточных, «запертых» мощностей, содержание которых ложится бременем на тариф [1].

### **Процесс актуализации: этапы и участники**

Процесс ежегодной актуализации является цикличным и строго регламентированным по времени. Для городов федерального значения и крупных городских округов (численность населения 500 тыс. человек и более) утверждение актуализированных схем осуществляет Министерство энергетики РФ. Для остальных муниципальных образований утверждение находится в компетенции местных или региональных властей.

Типовой календарный план актуализации выглядит следующим образом: Сбор исходных данных осуществляется в течение первого квартала года, предшествующего периоду актуализации. ТСО обязаны предоставить данные о полезном отпуске, расходе топлива, повреждаемости сетей и располагаемой мощности источников. Разработка проекта актуализированной схемы обычно выполняется специализированными проектными или инжиниринговыми организациями, выбираемыми на конкурсной основе, либо силами самой ЕТО. Публичные слушания являются обязательным этапом, обеспечивающим прозрачность принятия решений. Утверждение документа должно завершиться до 15 апреля года, предшествующего периоду действия актуализированной схемы (для городов, утверждаемых в Минэнерго – сроки могут варьироваться, но ориентир сохраняется).

Ключевой проблемой на этапе организации процесса является несвоевременное выделение бюджетных средств муниципалитетами на

проведение работ по актуализации, что приводит к срыву сроков и формальному подходу к выполнению работ подрядчиками.

### **Текущее состояние в отрасли**

Анализ ситуации по состоянию на текущий момент позволяет выделить несколько характерных групп муниципальных образований в зависимости от качества проработки СТ.

**Группа 1: Крупные города и мегаполисы.** В этой категории наблюдается наивысший уровень дисциплины. Поскольку утверждение проходит через экспертные комиссии Минэнерго России, качество материалов поддерживается на высоком уровне. В таких городах (Москва, Санкт-Петербург, Новосибирск, Казань и др.) актуализация базируется на детально проработанных электронных моделях. Происходит реальная синхронизация инвестиционных программ субъектов электроэнергетики и теплоснабжения. Однако сложность систем создает трудности с верификацией данных — огромный объем информации требует автоматизированных систем сбора, которые внедрены не везде [5].

**Группа 2: Средние города и промышленные центры.** Здесь ситуация неоднородна. Многие города, где присутствуют крупные энергетические холдинги, имеют качественно разработанные схемы. В то же время, в муниципалитетах, где теплоснабжение осуществляется множеством мелких котельных и МУПов, актуализация часто носит формальный характер. Отмечается тенденция копирования данных из отчетов прошлых лет без учета реального физического износа сетей и изменения гидравлических режимов.

**Группа 3: Малые города и сельские поселения.** Это наиболее проблемный сегмент. Часто актуализация не проводится вовсе или выполняется неквалифицированным персоналом администрации «для галочки». Электронные модели отсутствуют или существуют в неработоспособном виде. Основная причина — отсутствие финансирования и квалифицированных кадров на местах. В результате развитие систем теплоснабжения происходит хаотично, по принципу «латания дыр» при возникновении аварий, а не на основе системного планирования.

### **Анализ ключевых проблем**

В ходе ежегодной актуализации выявляется ряд системных проблем, препятствующих эффективному развитию теплоснабжения.

**Достоверность исходных данных.** Это фундаментальная проблема отрасли. Отсутствие 100 % приборного учета у потребителей и на источниках приводит к тому, что балансы тепловой энергии сводятся расчетным методом. Это искажает реальную картину потерь в тепловых сетях. Часто фактические потери значительно превышают нормативные, но в схемах теплоснабжения они «подгоняются» под нормативы, чтобы избежать тарифных санкций. В результате инвестиционные программы не направлены на реальные проблемные участки.

**Рассинхронизация с градостроительными планами.** Генеральные планы городов часто содержат завышенные ожидания по росту численности населения и вводу квадратных метров жилья. Разработчики СТ вынуждены закладывать под эти прогнозы строительство новых источников генерации и магистральных сетей. По факту застройка не происходит, а спроектированные мощности

остаются невостребованными, что ведет к росту удельных условно-постоянных затрат.

**Проблема «альтернативной котельной».** Переход к ценовым зонам теплоснабжения (метод «альтернативной котельной») требует высочайшего качества схем теплоснабжения, так как СТ становится базой для расчета цены и обязательств инвестора. Однако на практике многие муниципалитеты опасаются перехода на новую модель из-за риска роста тарифов, что тормозит привлечение инвестиций и консервирует технологическую отсталость [2].

**Качество электронных моделей.** Требование о наличии электронной модели системы теплоснабжения является обязательным. Наиболее распространенным программным обеспечением является ИГС «CityCom-Тепло» и ZuluThermo. Тем не менее, наличие файла модели не гарантирует её качество. Часто модель не откалибрована: результаты гидравлического расчета в программном комплексе не совпадают с показаниями манометров в тепловых камерах. Такая модель не может служить инструментом для наладки режимов и планирования переключений.

**Избыточность тепловых мощностей.** Советское наследие оставило многим городам избыточные мощности источников, рассчитанные на бурный рост промышленности, который не состоялся. Содержание этих мощностей (оплата резерва мощности) ложится на потребителей. Актуализация СТ должна решать вопрос вывода из эксплуатации неэффективного оборудования, но этот процесс часто блокируется по социальным или иным причинам [4].

### **Цифровизация и технологические тренды**

Современный этап развития схем теплоснабжения характеризуется переходом от статических документов к динамическим цифровым двойникам. Актуализация схемы перестает быть разовым ежегодным актом и трансформируется в непрерывный процесс мониторинга и планирования.

Внедряются системы онлайн-мониторинга параметров теплоносителя (температура, давление, расход) с передачей данных в электронную модель в режиме реального времени. Это позволяет переходить от периодической наладки сетей к постоянно действующей автобалансировке. Однако уровень проникновения таких технологий пока невелик и ограничивается пилотными зонами в крупных городах.

Важным трендом является интеграция схем теплоснабжения с государственными информационными системами (ГИС ЖКХ) и системами обеспечения градостроительной деятельности (ИСОГД). Это позволит исключить дублирование ввода данных и повысить их прозрачность.

### **Рекомендации по совершенствованию процесса**

Для повышения эффективности института актуализации схем теплоснабжения целесообразно рассмотреть следующие меры.

1. Необходимо ужесточить контроль за достоверностью исходных данных. Введение ответственности для должностных лиц ТСО и ОМСУ за предоставление искаженных данных о техническом состоянии сетей и потерях могло бы существенно оздоровить ситуацию.



2. Следует пересмотреть подход к прогнозированию спроса. Необходимо разрешить разработку сценарных условий в схемах теплоснабжения с более консервативными прогнозами прироста нагрузки, чтобы избежать строительства «воздушных замков». Инвестиции должны следовать за реальным спросом, а не опережать его на десятилетия на основе оптимистичных генпланов.

3. Требуется стимулировать создание региональных центров компетенций. Для малых городов, не способных самостоятельно качественно администрировать процесс разработки СТ, помощь региональных центров могла бы стать решением, позволяющим унифицировать подходы и повысить качество технических решений.

4. Необходима обязательная верификация электронных моделей. При приемке работ по актуализации необходимо требовать не просто наличие файлов, а протоколы калибровки модели на основе натурных испытаний или данных архивных измерений за отопительный период.

### **Заключение**

Ежегодная актуализация схем теплоснабжения в Российской Федерации прошла путь от формальной бюрократической процедуры до важнейшего элемента системы жизнеобеспечения городов. Несмотря на значительный прогресс в крупных агломерациях, отрасль сталкивается с серьезными вызовами в части достоверности данных, финансирования и кадрового обеспечения в малых населенных пунктах.

Текущее состояние можно охарактеризовать как переходное: от бумажного планирования к цифровому управлению инфраструктурой. Успех этого перехода зависит не столько от совершенствования программного обеспечения, сколько от организационной воли наладить прозрачный учет энергетических ресурсов и честный диалог о реальном состоянии коммунальной инфраструктуры. Без качественной, инженерно обоснованной схемы теплоснабжения невозможно эффективное расходование бюджетных и тарифных средств, а значит, и обеспечение надежного тепла в домах граждан. Актуализация СТ должна оставаться живым инструментом, гибко реагирующим на вызовы времени и потребности конечного потребителя.

### **Список литературы**

1. Гашо Е.Г. Структурирование функции качества как метод контроля качества и эффективности работы систем централизованного теплоснабжения / Е.Г. Гашо, А.М. Фокин, А.И. Киселева // *Энергетические системы*. – 2019. – № 1. – С. 19-24.

2. Власова А.А., Тарасюк П.А., Трубаев П.А. Сравнение централизованного и децентрализованного теплоснабжения // *Образование, наука, производство, Белгород, 20-22 октября 2015 года / Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова*. – Белгород: Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, 2015. – С. 1232-1236.

3. Колыхаева Ю.А. Комплексная оценка эффективности функционирования системы теплоснабжения / Ю.А. Колыхаева, К.Э. Филюшина // журнал «Проблемы современной экономики». – 2012. – № 1 (41).

4. Прокофьев С.А. Опыт реконструкции и эксплуатации систем теплоснабжения ООО «Нижегородтеплогаз» / С.А. Прокофьев, О.А. Верховодова, О.В. Жаднов, А.А. Шатохин // Новости теплоснабжения. – 2010. – № 12.

5. Некрасов А.С. Современное состояние теплоснабжения России / А.С. Некрасов, Ю.В. Синяк, С.А. Воронина, В.В. Семикашев // Проблемы прогнозирования. – 2011. – № 1. – С. 30-43.

## **СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ СОЛНЕЧНЫХ ПАНЕЛЕЙ ПО НАПРАВЛЕНИЮ НА СОЛНЦЕ**

А.И. Гимадиев, Р.Р. Шириев

Казанский государственный энергетический университет,  
г. Казань

**Аннотация.** В работе рассматриваются принципы разработки системы автоматического позиционирования солнечных панелей, ориентированных на повышение эффективности фотоэлектрических установок. Особое внимание уделено анализу сенсорных технологий, включая фоторезисторы, фотодиоды, GPS-модули и астрономические модели, обеспечивающие корректное наведение панели на источник света даже при неблагоприятных погодных условиях. Представлена классификация систем слежения, включающая одноосевые и двухосевые трекеры, а также сравнение их эффективности. Работа обобщает современные технические решения и подчёркивает значимость систем слежения для повышения энергетической отдачи солнечных панелей.

Из всех известных способов производства электрической энергии наиболее востребованными и динамично развивающимися в настоящее время являются фотоэлектрические технологии, к конкурентным преимуществам которых относят большой срок службы основных энергетических компонентов, минимальные эксплуатационные затраты, возможность создания генерирующих установок на широкий диапазон мощностей с максимальным приближением к объектам электропотребления [1].

Стабильное увеличение доли возобновляемых источников энергии делает оптимизацию фотоэлектрических установок критически важной задачей. Одним из эффективных способов повышения выработки электроэнергии у солнечных панелей является использование систем слежения за Солнцем, обеспечивающих оптимальный угол падения солнечного излучения на поверхность панели.

В современных системах применяются:

- фоторезисторы и фотодиоды для прямого измерения интенсивности света;
- GPS-модули и астрономические вычисления, обеспечивающие независимость от погодных условий.

Такие системы управления оснащены датчиком для определения координат источника, который устанавливается на самой панели солнечных батарей [2].

Также классифицируют систем слежения на одноосевые и двухосевые. Одноосевые трекары корректируют угол лишь по одной оси, обычно восток-запад. Двухосевые обеспечивают максимально точное наведение за счёт независимого управления азимутом и высотой. Выбор типа зависит от требований к производительности, стоимости и условиям монтажа.

Установка одноосевой системы слежения (рисунок) позволит повысить эффективность фотоэлектрической установки на 20...30 %, а добавление второй координаты слежения позволит увеличить мощность на 7...10 % [3].



Экспериментальный макет системы слежения [3]

### Список литературы

1. Обухов С.Г. Выбор параметров и анализ эффективности применения систем слежения за Солнцем / С.Г. Обухов, И.А. Плотников // Известия ТПУ. – 2018. – №10.
2. Селиванов К.В. Устройство автоматической ориентации панели солнечных батарей по направлению потока света, рег. № 2017 135 852, от 10.10.2017, Роспатент, 2017.
3. Китаева М.В. Системы слежения за Солнцем / М.В. Китаева, А.В. Юрченко, А.В. Скороходов, А.В. Охорзина // Векторы благополучия: экономика и социум. – 2012. – №3.

# ВНЕДРЕНИЕ БОКОВЫХ ГОРЕЛОК В ТУННЕЛЬНУЮ ПЕЧЬ ОБЖИГА ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ КЕРАМИЧЕСКОГО КИРПИЧА

А.А. Мукатдаров, Д.Б. Вафин

Казанский государственный энергетический университет,  
г. Казань

***Аннотация.** В статье описан опыт внедрения боковых горелок в туннельную печь обжига керамического кирпича, рассмотрены вопросы расслоения температурного поля по обжиговому каналу, проведен анализ процесса обжига с точки зрения энергосбережения и качества кирпича.*

Бурное развитие строительной отрасли России, вызванное необходимостью выполнения национальных приоритетов обеспечения комфортным жильём населения страны, требует производства качественных и конкурентных строительных материалов.

Как известно, одним из наиболее популярных и долговечных строительных материалов является керамический кирпич. Сочетание таких свойств как высокая прочность, морозостойкость, низкое водопоглощение, и низкая теплопроводность делают керамический кирпич практически незаменимым при строительстве.

Процесс производства керамического кирпича включает в себя несколько этапов.

Завершающей стадией технологии всех изделий строительной керамики является их обжиг, который в зависимости от термических свойств сырьевой смеси ведут в широком диапазоне температур (950-1350 °С).

Обжигом называется процесс высокотемпературной обработки материалов, в результате которой кирпич-сырец превращается в камнеподобное тело, стойкое против механических, физических и химических воздействий.

Режим обжига представляет собой комплекс взаимосвязанных факторов: скорости подъема температуры, конечной температуры обжига, длительности выдержки при конечной температуре, характера газовой среды и скорости охлаждения. В процессе нагрева при различных температурах в материале керамических изделий происходит ряд сложных физико-химических явлений, вызывающих изменение его свойств.

В интервале температур 0-150 °С происходит досушка кирпича сырца. При этом образуется значительное количество водяного пара, который при быстром подъеме температуры выделяется столь бурно, что может разорвать изделие.

При скоростном обжиге это наиболее опасный для изделия этап. Оптимальная влажность загружаемого в печь кирпича-сырца должна составлять 2-6 %. Обычно досушку производят за счет увеличения скорости газового потока при умеренном повышении его температуры (порядка 50-80 °С/ч). При этом процесс происходит весьма интенсивно (примерно 200 г/ч влаги с одного кирпича-сырца) с незначительными температурными перепадами по толщине кирпича-сырца (20-30 °С) и без ущерба для качества продукции.

В интервале температур 150-800 °С происходит дегидратация - удаление химически связанной воды, входящей в состав глинистых и других минералов. При этом разрушается кристаллическая решетка материала, и глина теряет пластические свойства. Удаление химически связанной воды начинается примерно с 350 °С, а отдача главной массы этой воды идет при температуре 450-500 °С и может продолжаться до 900 °С. При этом происходит усадка изделий и снижение их механической прочности.

При температуре 200-800 °С выделяется летучая часть органических примесей глины и введенных в состав массы выгорающих добавок, а также окисляются органические примеси в пределах температуры их воспламенения. В этот период материал обладает наибольшей пористостью, способствующей беспрепятственному удалению воды и летучей части органических веществ и запрессованного топлива. Одновременно с отдачей химически связанной влаги оксид железа (II)  $\text{FeO}$  в результате окисления переходит в оксид железа (III)  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ .

В интервале температур 300-1000 °С происходит разложение карбонатов (при 300-400 °С карбонатов железа  $\text{FeCO}_3$ ; 600-700 °С карбонатов магния  $\text{MgCO}_3$ ; 800-900 °С карбонатов кальция  $\text{CaCO}_3$ ).

Этот период нагрева, включая период дегидратации и модификационных изменений кварца, является практически безопасным даже при обжиге глин, чувствительных к данному процессу, его можно производить с высокой скоростью (100-200 °С /ч).

В интервале температур от 800 °С до максимальной (950-1100 °С) глинозем  $\text{Al}_2\text{O}_3$  и кремнезем  $\text{SiO}_2$  соединяются в безводный алюмосиликат-муллит, значительно улучшающий физико-механические свойства изделий. Этот период нагрева, связанный с разрушением кристаллической решетки глинистых минералов и значительными структурными изменениями в материале изделий, опасен в отношении трещинообразования. Допускаемая скорость подъема температуры в период структурных изменений от 800 °С до максимальной для полнотелого кирпича-сырца составляет 100-150 град/ч, а для эффективных изделий 200-220 град/ч.

Для осуществления скоростных процессов нагрева на всем протяжении обжига и снижения трещинообразования предусмотрено введение добавок в глину, чувствительную к обжигу. При высокой температуре в зависимости от вида находящихся в глине легкоплавких примесей и состава газовой среды начинает образовываться жидкая фаза, появление которой с повышением температуры приводит к деформации изделий под нагрузкой. Чтобы избежать этого, подъем температуры при обжиге кирпича следует прекращать на этапе, обеспечивающем появление минимально необходимого количества жидкой фазы для образования спаек или связей между дегидратированными частицами глинообразующих минералов, декарбонизированными частицами известняка и зернами кварца.

Задача рационального обжига заключается в том, чтобы как можно ближе подойти к этому пределу без повреждения изделий. Чем выше температура обжига, тем интенсивнее проявляется спекание массы в результате диффузии

частиц. Практически максимальная температура ограничивается неравномерностью температурного поля как по сечению печи, так и по объему изделия.

На одном из кирпичных заводов, вблизи г. Казани столкнулись с проблемой отстрела черепка кирпича при обжиге. После проведения анализа прохождения обжигового вагона с пачками кирпичей по каналу туннельной печи, выяснилось, что отстрелы черепка появляются в момент прохождения вагона зоны высоких температур. На основе этого сделан вывод, о том, что химико-физические процессы по удалению «свободной воды» из сырца не успевают завершиться перед заходом кирпича в зону обжига.

Были проведены ряд экспериментов по определению расслоения температурного поля в печи в зоне подготовки. На обжиговый вагон были установлены термопары CeriDry. Температурное поле исследовалось с помощью термопар подключенными к системе радиотелеметрии типа Dataraq Kiln Tracker. На рис. 1 показаны места размещения термопар на пачках вагона.

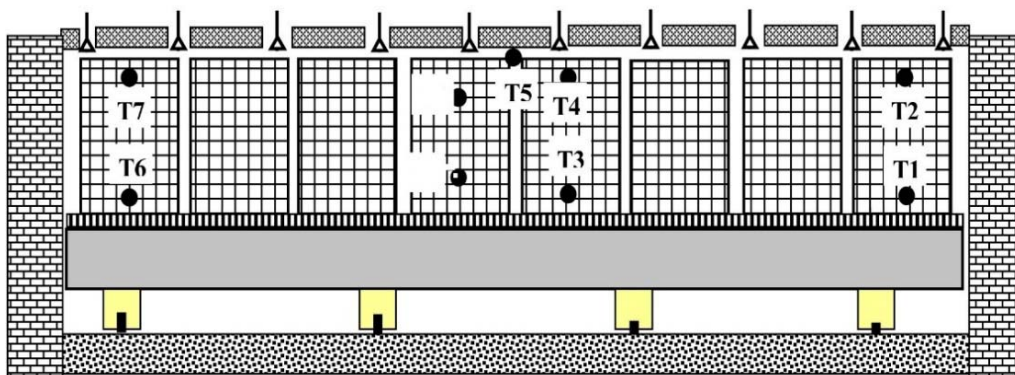


Рис. 1. Поперечное сечение туннельной печи с вагоном и с размещенными термопарами

Термопары T1, T2, T3, T4, T6, T7 размещены на садках со стороны продуктов сгорания, T5 находится над загрузкой.

На тележке перемещающемся рядом с каналом туннельной печи синхронно с вагоном кирпичей в туннеле расположили персональный компьютер, подключенный к дистанционному регистратору. Регистратор с опцией FullRadio считывал сигналы термопар по беспроводной связи в режиме реального времени. Данные каждой термопары регистрировались компьютером при перемещении вагона с кирпичами вдоль туннеля печи.

В результате эксперимента был получен график. (Рис 2) Проанализировав данный график, становится понятно, что хуже всего прогревается садка кирпичей, находящаяся с краю вагона и снизу. Так же отчетливо видно большое расслоение температурного поля по сечению обжигового канала.

По результатам проведенных исследований, с целью снижения обжигового брака, уменьшения расслоения температурного поля, было принято решение об установке дополнительных боковых горелок в зоне подготовки туннельной печи обжига.

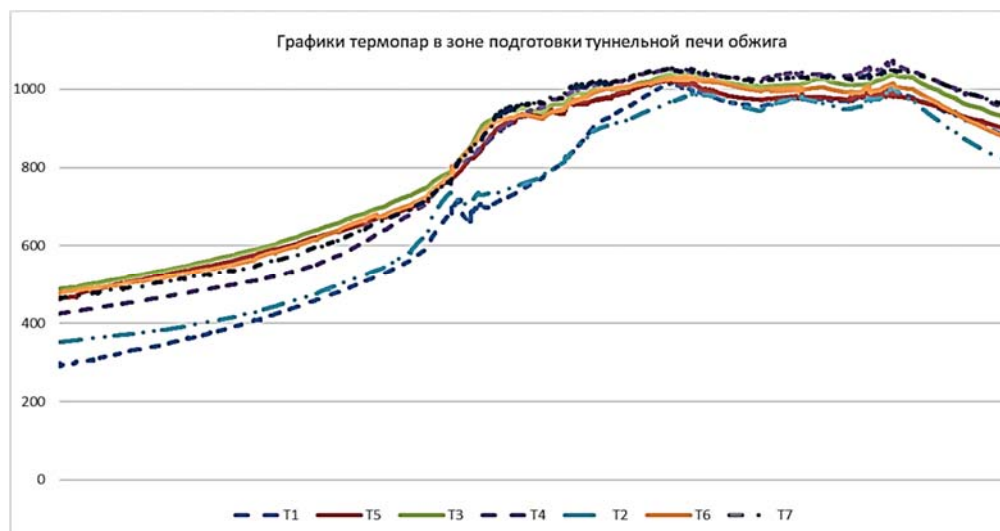


Рис. 2. Графики термопар в зоне подготовки туннельной печи обжига

В результате проектирования, был подобран оптимальный способ расположения боковых горелок, а именно выбрано количество устанавливаемых горелок (12 штук), рассчитаны их мощностные характеристики, определены места установки. (Рис 3).

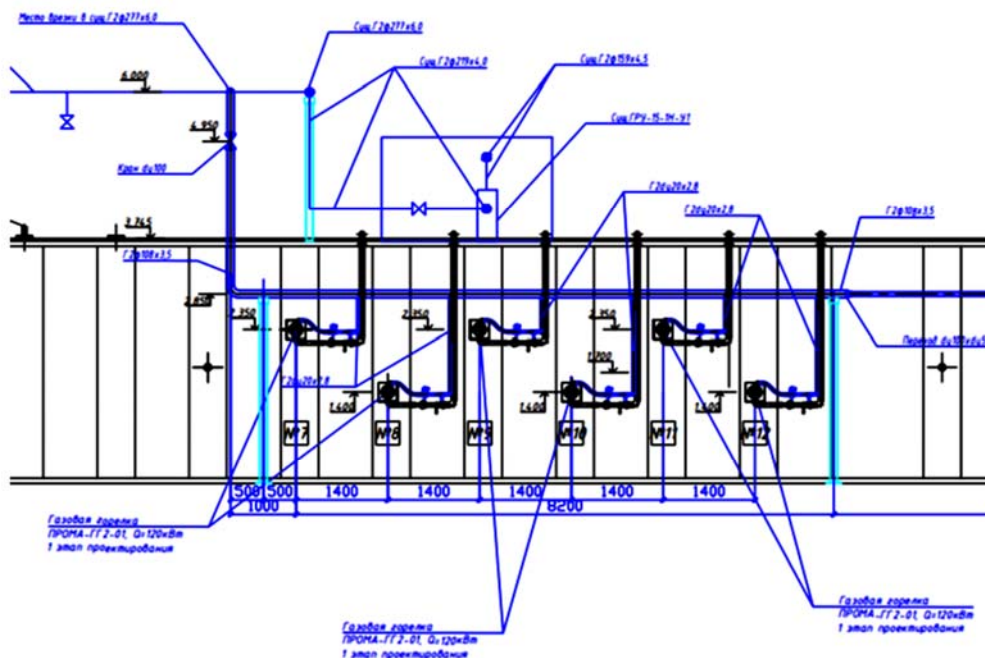


Рис. 3. Места расположения боковых горелок туннельной печи обжига

Было установлено 12 горелок ПРОМА-ГГ2-01, мощностью 120,0кВт.

После проведения пуско-наладочных работ и введения в эксплуатацию данных горелок, удалось кратно снизить количество брака при обжиге.

Полученный опыт внедрения боковых горелок в туннельную печь обжига показал свою эффективность. Обеспечение более плавного нагрева в зоне

подготовки позволило не только снизить количество брака, но и увеличить количество проталкиваемых вагонов по печи, тем самым снизить себестоимость выпускаемой продукции за счет экономии газа на горение.

### **Список литературы**

1. Вафин Д.Б. Тепловое состояние в туннельной печи обжига кирпичей со сводовым расположением горелок / Д.Б. Вафин, А.А. Мукатдаров, Д.А. Мукатдарова // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. – 2024. – Т26, №3. – С. 184-193.

2. Мукатдаров А.А. Автоматизированная система управления туннельной печи обжига керамического кирпича / А.А. Мукатдаров, Д.Б. Вафин // Приборостроение и автоматизированный электропривод в топливно-энергетическом комплексе и жилищно-коммунальном хозяйстве: материалы IX Национальной научно-практической конференции, посвященной 55-летию КГЭУ, Казань, 07-08 декабря 2023 года. – Казань: Казанский государственный энергетический университет, 2024. – С. 920-922.

3. Вафин Д.Б. Зависимость аэродинамики продуктов сгорания газообразного топлива и тепловых потоков к трубчатому экрану в трубчатых печах от типа и размещения горелок / Д.Б. Вафин, Ш.Г. Зиганшин, А.А. Мукатдаров // XIII семинар вузов по теплофизике и энергетике : тезисы докладов Всероссийской научной конференции, Нижний Новгород, 12-14 октября 2023 года. – Нижний Новгород: Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева, 2023.

## **МЕТОДЫ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО СБОРА И ОБРАБОТКИ ДАННЫХ КАК ОСНОВА ПРЕДИКТИВНОГО УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОСЕТЕВЫМ ХОЗЯЙСТВОМ 6 – 110 КВ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ**

В.М. Панарин, А.А. Маслова, В.Ю. Карницкий, Е.О. Новикова,  
С.В. Абросимов, В.В. Сало  
Тульский государственный университет,  
г. Тула

**Аннотация.** Рассмотрен ключевой элемент цифровизации электросетевого хозяйства промышленных потребителей – система интеллектуального сбора и обработки данных. В рамках представленного исследования разработана и внедрена в модель информационно-измерительной системы (ИИиУС) для объектов 6-110 кВ многоуровневая методология. Она интегрирует традиционный сбор данных через промышленные протоколы с продвинутой аналитикой на основе искусственного интеллекта. Основной акцент сделан на решении двух практических задач: обеспечении высочайшей достоверности первичных данных и их трансформации в предиктивные рекомендации для дежурного диспетчера. Доклад демонстрирует, как комплекс методов, включая LSTM-сети для прогноза несимметрии, NLP для анализа переговоров и алгоритмы обнаружения аномалий, формирует основу для перехода от реактивного к предупреждающему управлению, что подтверждено результатами имитационного моделирования на примере действующего предприятия.



Исследование посвящено методам сбора и интеллектуальной обработки данных как ядру современной информационно-измерительной системы.

Актуальность вопроса обусловлена тем, что потребители I категории, особенно с непрерывным циклом производства, не могут полагаться исключительно на реактивные системы управления, которые лишь констатируют свершившийся факт аварии. Человеческий фактор, нагрузка на дежурного диспетчера и требования к надежности диктуют необходимость перехода к системам, способным предвидеть, анализировать и оказывать рекомендательную помощь диспетчеру [1, 8].

Цель работы – создать не просто стандартную SCADA-систему, а интеллектуальный контур управления. Его фундаментом являются корректные данные и алгоритмы их глубокой обработки.

В исследовании предложена трехуровневая архитектура.

Первый уровень – умный сбор и «очистка» данных.

В качестве первичного источника данных предусмотрены микропроцессорные терминалы РЗА.

Далее, реализован строгий конвейер первичной обработки [2-4]:

- 1) контроль достоверности в реальном времени: от проверки связи до логики «ток не может расти при отключённом выключателе присоединения»;
- 2) фильтрация помех и «дребезга»;
- 3) обогащение данных: мгновенный расчет симметричных составляющих, коэффициентов несимметрии, гармоник.

Каждому значению присваивается метка качества. Это критически важно – алгоритмы ИИ должны питаться только проверенной информацией.

Второй уровень – аналитическое ядро на основе ИИ.

Здесь данные преобразуются в знания. Мы не используем один универсальный алгоритм. Это набор специализированных инструментов, каждый под свою задачу [5]:

- 1) для прогноза развития несимметрии в сетях 6, 10, 35 кВ – используем LSTM-сети, которые выявляют сложные временные зависимости в рядах токов и напряжений;
- 2) для классификации аварийных событий (ОЗЗ это или межфазное КЗ?) – применяем сверхточные нейронные сети для анализа формы сигналов и осциллограмм;
- 3) для выявления скрытых дефектов, например, постепенного ухудшения контакта – эффективны алгоритмы обнаружения аномалий, такие как «Изолирующий лес»;
- 4) для помощи дежурному диспетчеру в ведении оперативного журнала – внедрен модуль обработки естественного языка (NLP); он автоматически структурирует аудиопереговоры, извлекая сущности: «объект», «действие», «значение», и формирует записи в оперативном журнале.

Третий уровень – интеграция в контур управления и поддержка решений.

Аналитическое ядро не работает в вакууме. Его выводы поступают в модуль формирования рекомендаций, который общается с дежурным диспетчером через интерфейс виртуальных помощников. Система не принимает

решений вместо человека – она предлагает обоснованные сценарии: «Внимание! На I секции шин 6 кВ ПС Мирная 110/6 кВ рост  $3U_0$ . Вероятность развития ОЗЗ в течение  $48 \pm 4$  часов – 85 %. Рекомендуется провести отключение ЛЭП, питающих потребителей III категории, выполнить внеплановый осмотр ЛЭП, питающих потребителей II и I категории. Рекомендуемый порядок отключения и осмотра ЛЭП смотрите ниже». Это снижает когнитивную нагрузку и минимизирует риск ошибки, выносит за скобки зависимость от опыта конкретного человека [6-7].

Практические результаты и внедрение.

Разработанная методология была испытана путем имитационного моделирования на цифровом двойнике системы электроснабжения класса напряжения 6 кВ действующего Стеклотарного завода. Полученные эффекты:

1) сокращение времени на анализ ситуации дежурным диспетчером и принятие решения при ликвидации нарушений на 15-20 %;

2) возможность превентивного реагирования на зарождающиеся аварийные режимы, такие как несимметрия в сетях с изолированной нейтралью, за счет прогнозных моделей;

3) автоматизация документирования оперативной деятельности, что высвобождает время персонала и нивелирует зависимость от профессионализма и человеческого фактора.

В заключение отметим, что представленный комплекс методов – это не теоретическая конструкция, а рабочий инструмент для цифровой трансформации сетевого хозяйства любого промышленного предприятия. Он закладывает основу для повышения не только экономической эффективности, но и, что самое главное, безопасности персонала и надежности электроснабжения.

### Список литературы

1. Рябов И.В. Автоматизированные информационно-управляющие системы: учебное пособие / И.В. Рябов. – Москва; Вологда: Инфра-Инженерия, 2023. – 208 с.: ил., табл.

2. Новиков Н.Ю. Основы теории информационно-измерительных и управляющих систем / Н.Ю. Новиков. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2022. – 560 с.

3. Тырышкин С.Ю. Информационно-измерительные и управляющие системы: учебное пособие для вузов / С.Ю. Тырышкин. – Москва.: Издательство Юрайт, 2025. – 124 с.

4. Добронеев Б.С. Интеллектуальные информационно-измерительные и управляющие системы: учебное пособие / Б.С. Добронеев, О.А. Попова. – Москва.: ИНФРА-М, 2026. – 66 с.

5. Правила переключений в электроустановках, утверждённые приказом Минэнерго России от 13 сентября 2018 г. № 757 (с изменениями на 9 декабря 2024 года).

6. Приказ Минэнерго России от 12 июля 2018 года № 548 «Об утверждении требований к обеспечению надежности электроэнергетических систем, надежности и безопасности объектов электроэнергетики и энергопринимающих установок «Правила предотвращения развития и

ликвидации нарушений нормального режима электрической части энергосистем и объектов электроэнергетики» (с изменениями на 9 декабря 2024 года).

7. Мягкие измерения и вычисления: научный журнал, том 89, номер 4, апрель 2025, статья: Обзор существующих телемеханических систем подстанций класса высшего напряжения 35 – 110 кВ сетевых организаций ЛНР и ДНР / Сало В.В., Панарин В.М., Карницкий В.Ю., Сало А.В., Абросимов С.В.: Москва: ООО «Издательский дом «Научная библиотека», 2025. – 98 с.: ил., табл.

8. Правила по охране труда при эксплуатации электроустановок, утверждённые приказом Министерства труда и социальной защиты Российской Федерации от 15 декабря 2020 года N 903н (с изменениями на 29 апреля 2022 года).

## ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

### ВЕКТОРНАЯ МОДЕЛЬ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА

А.В. Ганичева<sup>1</sup>, А.В. Ганичев<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Тверская государственная сельскохозяйственная академия,

<sup>2</sup> Тверской государственный технический университет,  
г. Тверь

**Аннотация.** Разработан новый метод оценки успеваемости студентов в виде двух векторов: успеваемости по срокам сдачи контрольных мероприятий и по качеству усвоения учебного материала. Для многокритериальной оценки предложен показатель – скалярное произведение векторов.

Свяжем с каждым обучаемым векторы успеваемости  $\bar{a}(a_1, a_1)$ ,  $\bar{b}(b_1, b_2)$ . Значения вектора  $\bar{a}$  определяются сроками сдачи контрольных (курсовых) работ ( координат  $a_1$ ) и зачетов (экзаменов) ( координат  $a_1$ ). Можно принять:  $a_1 = 1$  - контрольная работа сдана в ранний срок,  $a_1 = 2$  - сдана во второй срок, и т. д. Аналогично по зачетам (экзаменам):  $a_2 = 1$  – сдача с первого раза,  $a_2 = 2$  - со второго раза,  $a_2 = 3$  - сдача комиссии. Второй вектор  $\bar{b}$  характеризует успеваемость по качеству усвоения учебного материала. Координата вектора  $b_1$  показывает оценки по контрольным (курсовым) работам. Координата  $b_2$  соответствует оценкам : по зачету ( $b_2 = 0$  – зачет,  $b_2 = 1$  – незачет); по экзамену (обратное кодирование: 2 - отлично, 3 – хорошо, 4 - удовлетворительно, 5 - неудовлетворительно). Векторы успеваемости  $\bar{a}$ ,  $\bar{b}$  можно применять для анализа динамики успеваемости студента по данному предмету или их

совокупности (усредненная оценка по множеству предметов данного семестра (курса)), а также использовать при сравнении успехов студентов в учебной группе. Для этого сравниваются длины соответствующих векторов: чем меньше длины, тем успешнее процесс обучения. Для объединения двух векторов в единую оценку можно ввести обобщенный показатель - скалярное произведение  $\bar{a}$  и  $\bar{b}$  векторов. Чем лучше успеваемость обучаемого, тем меньше значение скалярного произведения  $\bar{a} \bar{b}$ .

Если длина сравниваемых векторов одинакова, то рассчитывается их отклонение от эталонного вектора. Чем оно меньше, тем выше успеваемость.

Введем норму качества обучения. Будем считать нормой ситуацию, когда не менее 75 % студентов сдают контрольную работу не позднее 2-ого срока и с первого раза, аналогично – экзамен; и не более 25 % сдают контрольную работу не позднее 3-его срока и сдают зачет - не более 2-х раз. Тогда характеризующий вектор будет:  $\bar{a}(a_1, a_2)$  при  $1 \leq a_1 \leq 2$ ,  $1 \leq a_2 \leq 2$  и вектор успехов  $\bar{b}(b_1, b_2)$  при  $b_1 = 1$ ,  $b_2 = 1$ ; не более 25 % студентов имеют либо вектор  $\bar{a}$  с координатами, хотя бы одна из которых равна 3, либо вектор успехов  $\bar{\beta}$ , у которого хотя бы одна из координат равна 2. Следовательно, вектор нормы  $\bar{\gamma}_0$  будет иметь не менее 75 % единичных координат и не более 25 % координат, равных 2 или 3.

Вектор нормы группы из  $n$  студентами, будет иметь длину

$$|\bar{\gamma}_0| \leq \sqrt{0,25 \cdot n \cdot 9} = 0,75\sqrt{n}; \sqrt{3n} = 1,7\sqrt{n}. \quad (1)$$

В общем случае, если  $x$  - доля координат вектора  $\bar{\gamma}$ , равных 2 или 3 при остальных единичных, то

$$\sqrt{n(3x-1)} \sqrt{n(8x-1)}. \quad (2)$$

Рассмотрим допустимое отклонение от нормы, при котором процесс обучения еще может считаться качественным.

Обозначим  $\delta$  – отклонение длины вектора  $\bar{\gamma}$  от нормы  $\bar{\gamma}_0$ . Из (1) и (2) получаем (при  $x \geq 0$ ):

$$\begin{aligned} 2\sqrt{x} \cdot \sqrt{n} &\geq \sqrt{n} + \delta, \text{ т. е.} \\ \delta &\leq \sqrt{n}(2\sqrt{x} - 1). \end{aligned} \quad (3)$$

При  $n \leq 36$ ,  $x = 30\%$  будет:  $\delta \leq \sqrt{36}(2\sqrt{0,3} - 1) = 6 \cdot (2 \cdot 0,55 - 1) = 0,6$ : При  $n \leq 36$  и  $x = 50\%$  имеем:  $\delta \leq \sqrt{36}(2\sqrt{0,5} - 1) = 2,49$ .

Пусть  $x_1$  - общая доля соответствующих координат 2 или 3 вектора нормы и произвольного вектора  $\bar{\gamma}$ , равной с  $\bar{\gamma}_0$  длины, тогда

$$2x_1 \cdot n \leq \bar{\gamma}_0 \cdot \bar{\gamma} \leq \sqrt{n} \cdot \sqrt{n} \cdot \cos \varepsilon,$$

где  $\varepsilon$  - угол между  $\bar{\gamma}_0$  и  $\bar{\gamma}$ . Из данного соотношения получим:

$$x_i \leq \cos \varepsilon \frac{1}{2}. \quad (4)$$

Таким образом, общая доля соответствующих координат 2 или 3 векторов  $\overline{\gamma_0}$  и  $\overline{\gamma}$  при условии равенства их длин, составляет не менее  $1/2$  косинуса угла между ними.

Если вектор нормы задать в общем виде, считая, что  $x_0$  - доля координат 2 или 3 при остальных координатах, равных 1, то неравенство (4) записывается в виде

$$|\overline{\gamma_0}| \leq \sqrt{x_0 n 9}, \quad (5)$$

а неравенство (4) будет иметь вид:

$$\frac{2x_1}{\sqrt{x_0 x}} \leq 9 \cos \varepsilon. \quad (6)$$

Найденное соотношение задает условие, позволяющее определить допустимое отклонение от нормы.

Подробнее данный метод изложен в [1].

### Список литературы

1. Ганичева А.В. Цифровые технологии интеллектуального управления образовательным процессом: монография / А.В. Ганичева, А.В. Ганичев. – Тверь: Тверской государственный технический университет, 2022. – 160 с.

## ОПЫТ АВТОМАТИЗАЦИИ ДИСПАНСЕРНОГО НАБЛЮДЕНИЯ НА БАЗЕ ТЕЛЕМЕДИЦИНСКОЙ ПЛАТФОРМЫ

Г.Э. Жданович

Приволжский государственный университет путей сообщения,  
г. Самара

**Аннотация.** В статье рассматривается проблема автоматизации диспансерного наблюдения пациентов с хроническими заболеваниями. Проведен сравнительный анализ функциональных возможностей существующих медицинских информационных систем и платформ дистанционного мониторинга. Обоснован подход к построению системы на основе многоуровневой архитектуры, обеспечивающей интеграцию медицинских приборов с беспроводной передачей данных и использование онтологической модели для гибкой настройки параметров наблюдения. Представлена реализация аналитического программно-аппаратного комплекса, организованного по принципу замкнутого биотехнического контура управления с обратной связью.

Современный этап развития системы здравоохранения Российской Федерации характеризуется масштабной цифровой трансформацией, регламентируемой национальным проектом «Здравоохранение» и стратегией создания единого цифрового контура (ЕГИСЗ). Ключевым вектором данной трансформации является переход от «медицины лечения больных» к «медицине профилактики и сохранения здоровья». В этом контексте особую значимость приобретают процессы диспансерного наблюдения (ДН) – периодического обследования пациентов, страдающих хроническими неинфекционными заболеваниями, а также лиц с высоким риском их развития.

Согласно действующим нормативным актам, регламентирующим порядок проведения диспансерного наблюдения, данный процесс предполагает регулярный контроль физиологических параметров, своевременную коррекцию терапии и оценку динамики состояния пациента. Однако, как показывает анализ литературы [1], существующая практика сталкивается с рядом системных ограничений.

Во-первых, это дискретность получения данных: объективная информация о состоянии пациента доступна медицинскому персоналу исключительно в момент посещения медицинской организации, которое осуществляется с периодичностью раз в 3-6 месяцев.

Во-вторых, низкая приверженность пациентов к лечению: отсутствие удобных инструментов самоконтроля приводит к несоблюдению врачебных рекомендаций в межвизитный интервал.

В-третьих, высокая нагрузка на первичное звено, что затрудняет полноценный анализ динамики заболевания в условиях ограниченного времени приема.

Решением данных проблем может стать внедрение технологий дистанционного мониторинга состояния здоровья на базе специализированных информационных платформ. Анализ современных исследований демонстрирует, что применение медицинских приборов с функцией автоматической передачи данных для сбора физиологических показателей позволяет снизить частоту экстренных госпитализаций на 20-30 % [2]. Тем не менее вопросы интеграции таких потоковых данных в существующие медицинские информационные системы остаются недостаточно проработанными, особенно в части методологии автоматизированного анализа.

Для определения места разрабатываемой системы в общей структуре цифрового здравоохранения необходимо провести классификацию существующих программных решений. Анализ функциональных возможностей современных ИТ-продуктов позволяет выделить три ключевых класса систем.

Наиболее распространенным классом являются медицинские информационные системы (МИС), например, ЕМИАС, «Барс», «ПроМед». Их основной функцией выступает административно-хозяйственная и учетная деятельность, а объектом автоматизации – электронная медицинская карта и реестры счетов. Ключевым ограничением их использования для задач диспансерного наблюдения является архитектура, ориентированная на регистрацию дискретных событий (визитов). Системы данного типа не адаптированы для хранения и анализа массивов «сырых» данных ежедневного мониторинга, что создает избыточную нагрузку на базы данных.

Специализированную нишу занимают автоматизированные системы проведения профилактических медицинских осмотров, используемые в центрах здоровья. Их функциональным назначением является скрининг – быстрая фиксация текущего статуса пациента и факторов риска. Данные системы работают в режиме одномоментной оценки показателей с периодичностью раз в год и не позволяют отслеживать динамику состояния или выявлять предикторы обострений в межвизитный интервал.

Принципиально иным классом решений выступают телемедицинские платформы и системы дистанционного мониторинга, основной функцией которых заключается в обеспечении коммуникации «врач–пациент» и сборе данных с персональных медицинских приборов. Объектом автоматизации здесь являются дневник самоконтроля, процессы дистанционного консультирования и формирование уведомлений о критических отклонениях. Преимуществом данного подхода является возможность работы с непрерывными временными рядами данных.

Ключевая проблема текущего этапа информатизации заключается в функциональном разрыве между описанными классами. Существующие МИС эффективно учитывают факты обращений, системы профосмотров фиксируют группу здоровья, однако процесс ежедневного сопровождения пациента с хроническим заболеванием (диспансерное наблюдение) остается недостаточно автоматизированным.

В существующей практике автоматизация диспансерного наблюдения часто сводится к формированию списков пациентов, подлежащих вызову на прием. При этом содержательная часть процесса, представляющая собой контроль достижения целевых показателей: артериального давления, уровня гликемии, сатурации; фиксируется преимущественно на бумажных носителях. В условиях ограниченного времени приема медицинский персонал не имеет возможности эффективно анализировать массивы таких неструктурированных данных.

Актуальной задачей является разработка информационно-измерительной системы, которая сочетает возможности телемедицинской платформы, включая сбор данных с медицинских приборов по беспроводным каналам, а также логику диспансерного наблюдения, включающую контроль целевых показателей и автоматическое выявление отклонений.

Попытки автоматизации дистанционного мониторинга активно предпринимаются как на мировом, так и на российском рынке. Ведущие зарубежные программно-аппаратные платформы обеспечивают высокую точность регистрации и передачи физиологических показателей. Однако их массовое внедрение в здравоохранении РФ затруднено вследствие высокой стоимости, закрытости проприетарных протоколов и сложностей интеграции в отечественные медицинские информационные системы.

В России активно развиваются коммерческие телемедицинские сервисы, предлагающие услуги мониторинга хронических больных. Основным ограничением данных платформ является ориентация на коммерческий сегмент и отсутствие жесткой привязки к методологии диспансерного наблюдения, регламентированной Приказом Минздрава РФ № 168н.

Успешный опыт внедрения государственной системы мониторинга демонстрирует проект «Хроники», реализованный в системе ЕМИАС (г. Москва) [3]. Данное решение глубоко интегрировано в городскую инфраструктуру, однако его архитектура специфична для столичного региона и трудно масштабируема на другие субъекты РФ без кардинальной перестройки существующих систем, сложность которой отмечается в работе [4].

Таким образом, анализ аналогов показывает отсутствие универсального решения, которое было бы адаптировано под региональные процессы обязательного медицинского страхования и реализовывало бы онтологический подход к настройке параметров наблюдения.

Для обоснования архитектурных решений разрабатываемой системы был проведен анализ существующих подходов к цифровизации медицинских процессов. Методологической основой сравнения послужил онтологический подход, описанный в работе [5], согласно которому медицинские процессы различаются целевыми функциями оптимизации и структурой данных.

В отличие от скрининга, дистанционное диспансерное наблюдение представляет собой задачу непрерывного управления состоянием здоровья пациента во времени. Как отмечается в работе [6], накопление качественных наборов данных является критическим условием для применения технологий искусственного интеллекта в клинической практике.

На основе проведенного анализа была сформирована сравнительная характеристика подходов к автоматизации, представленная в таблице.

Сравнительная характеристика подходов к автоматизации

<b>Критерий сравнения</b>	<b>Система Профосмотров / Скрининга</b>	<b>Классическая МИС (Поликлиника)</b>	<b>Разрабатываемый аналитический комплекс</b>
<b>Целевая функция</b>	Максимизация потока пациентов (пропускная способность)	Фиксация фактов обращения и учет услуг	Минимизация рисков и управление состоянием
<b>Режим сбора данных</b>	Одномоментный пакет измерений (раз в год)	Эпизодический (при жалобе)	Непрерывный / Поточковый (динамические ряды)
<b>Адаптивность</b>	Низкая (жесткий стандарт осмотра для всех)	Средняя	Высокая (индивидуальный план для каждого диагноза)
<b>Роль пациента</b>	Пассивный объект обследования	Пассивный объект лечения	Активный участник (самоконтроль с приборами)
<b>Использование данных</b>	Формирование заключения («Годен/Не годен»)	Ведение истории болезни	Формирование наборов данных для систем искусственного интеллекта

Анализ показывает, что существующие МИС и системы профилактических осмотров структурно не адаптированы для задач длительного мониторинга. Их базы данных ориентированы на хранение статических



документов (протоколов), тогда как для диспансерного наблюдения необходима архитектура, обеспечивающая обработку динамических событий (измерений).

Реализация функционала непрерывного наблюдения в рамках классической МИС неэффективна вследствие отсутствия механизмов фильтрации временных рядов, исходя из этого требуется внедрение специализированной платформы, выполняющей функцию промежуточной агрегации и анализа данных.

Реализация данного подхода потребовала разработки многоуровневой компонентной архитектуры, объединяющей уровень источников данных, логическое ядро и уровень представления (рис. 1).

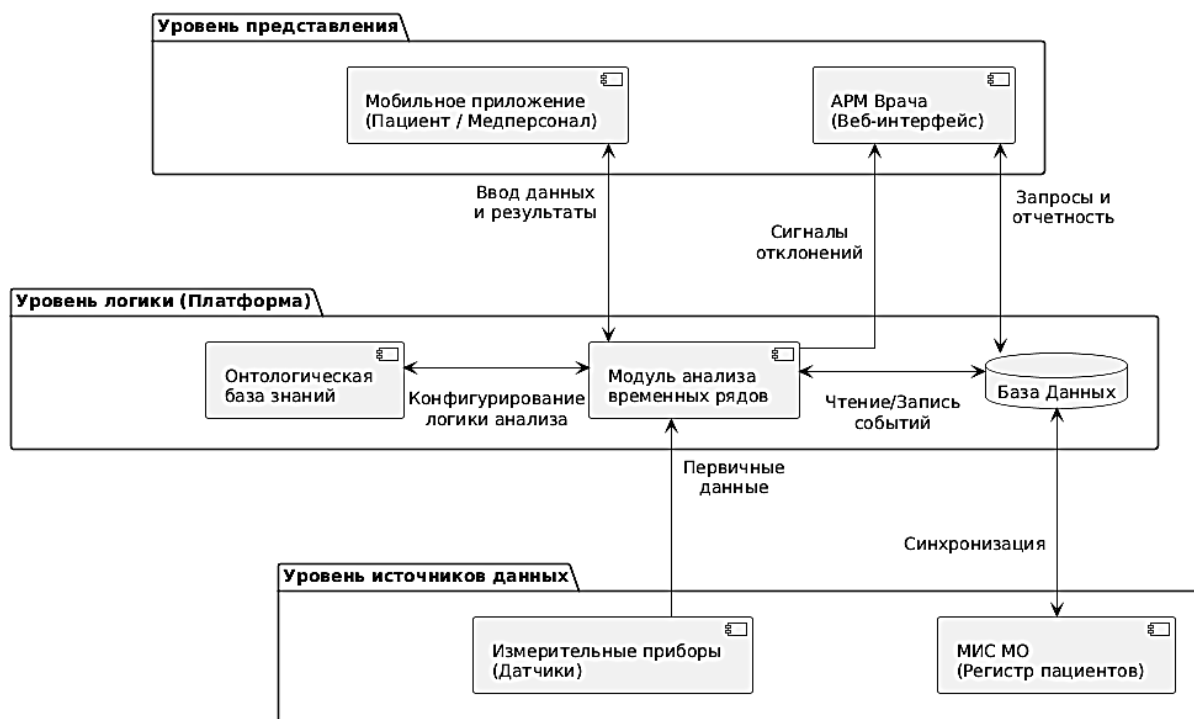


Рис. 1. Компонентная архитектура аналитического программно-аппаратного комплекса

В отличие от стандартных МИС, жестко фиксирующих бизнес-процессы, в разработанном комплексе реализован принцип онтологической конфигурируемости, поэтому логика наблюдения, включающая в себя перечень измеряемых параметров, периодичность, границы нормы, не является жестко заданной в программном коде, а настраивается через семантическую сеть.

Рассмотрим подробнее предлагаемый комплекс, функционирующий в двух контурах: контур сбора данных и контур управления.

Контур сбора данных (Пациент/Медперсонал) представляет собой мобильное приложение, обеспечивающее агрегацию данных с медицинских приборов, такие как тонометры, пульсоксиметры, весы, спирометры, по беспроводным каналам связи или посредством ручного ввода.

Контур управления (Врач) представляет собой веб-приложение (АРМ врача), реализующее функцию автоматического выявления отклонений. Система использует цветовую индикацию рисков при выходе показателей за

установленные границы, что позволяет медицинскому персоналу фокусироваться на пациентах с отрицательной динамикой.

Взаимодействие описанных контуров образует замкнутую систему управления состоянием пациента с непрерывной обратной связью (рис. 2).

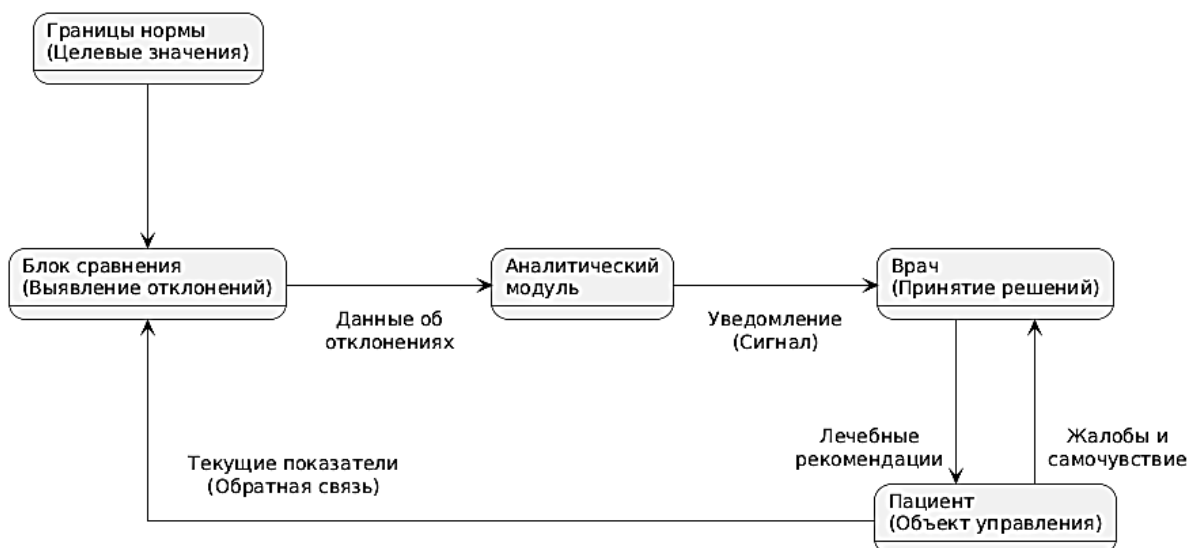


Рис. 2. Структурно-функциональная схема биотехнического контура управления

Внедрение разработанного комплекса проводилось на базе медицинских организаций Самарской области в рамках пилотного проекта по цифровизации. Результаты опытной эксплуатации показали, что автоматизация сбора данных позволяет перейти от формального учета к реальному управлению рисками.

Кроме того, накопленные в системе структурированные временные ряды формируют уникальную базу знаний, необходимую для развития региональных систем поддержки принятия врачебных решений.

Проведенное исследование позволило обобщить опыт автоматизации диспансерного наблюдения и определить ограничения существующих цифровых экосистем. Предложенная в работе многоуровневая архитектура позволяет обеспечить адаптивность системы к различным клиническим сценариям и бесшовную интеграцию персональных медицинских приборов в единый информационный контур.

Практическая значимость заключается в применении результатов исследования в автоматизированной платформе амбулаторного контроля (АПАК) [5,7].

### Список литературы

1. Камынина Н.Н. Рынок телемедицинских услуг в России / Н.Н. Камынина, Е.И. Медведева // *Здоровье мегаполиса*. – 2022. – Т. 3. – № 1. – С. 6-13.
2. Nahid H. IoT-Based Healthcare-Monitoring System towards Improving Quality of Life: A Review / H. Nahid [et al.] // *Healthcare*. – 2022. – Vol. 10. – № 10. – P. 1993.
3. Тыров И.А. Управление изменениями в процессе внедрения цифровых технологий в медицинских организациях стационарного звена: опыт города

Москвы / И.А. Тыров [и др.] // Национальное здравоохранение. – 2021. – Т. 2. – № 2. – С. 47-54.

4. Гусев А.В. Информатизация здравоохранения Российской Федерации: история и результаты развития / А.В. Гусев [и др.] // Национальное здравоохранение. – 2021. – Т. 2. – № 3. – С. 5-17.

5. Порецкова Г.Ю. Онтологический подход к цифровизации медицинских осмотров и диспансерного наблюдения на базе телемедицинской платформы / Г.Ю. Порецкова, А.В. Иващенко [и др.] // Онтология проектирования. – 2025. – Т. 15. – № 2 (56). – С. 187-197.

6. Жданович Г.Э. Имитационное моделирование организационно-технических мероприятий по составлению датасетов для систем медицинского искусственного интеллекта / Г.Э. Жданович, Д.А. Мельников [и др.] // Проблемы информатики в образовании, управлении, экономике и технике: сб. ст. XXV Междунар. науч.-техн. конф. – Пенза: Изд-во ПГУ, 2025. – С. 41-47.

7. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2023663806 Российская Федерация. Программа проведения профилактического осмотра детей 14-17 лет с автоматизированным анализом результатов: № 2023662510: заявл. 19.06.2023: опубл. 28.06.2023 / Г.Ю. Порецкова, А.А. Тяжеева, Г. В. Санталова [и др.]; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Самарский государственный медицинский университет» Министерства здравоохранения Российской Федерации. – EDN SDAAKB.

## **АЛГОРИТМЫ ПОВЫШЕНИЯ НАДЁЖНОСТИ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ В SDN-СЕТЯХ: СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ CRC И КОДОВ ХЭММИНГА**

П.А. Власов

Рязанский государственный радиотехнический университет имени В.Ф. Уткина  
(РГРТУ имени В.Ф.Уткина),  
г. Рязань

**Аннотация.** В работе проведён сравнительный анализ двух алгоритмов повышения надёжности передачи данных в программно-определяемых сетях (SDN): циклического избыточного кода (CRC) и кодов Хэмминга. Представлены математические модели алгоритмов, описаны результаты экспериментальных исследований в моделированной SDN-среде. На основе количественных показателей (процент потерянных пакетов, задержка передачи, нагрузка на контроллер) обоснован выбор оптимального алгоритма для различных сценариев использования в SDN. Предложен гибридный подход к применению алгоритмов с динамическим переключением на основе метрик качества канала.

**Ключевые слова:** SDN, надёжность передачи данных, CRC, коды Хэмминга, помехоустойчивое кодирование, сетевой симулятор, качество обслуживания.

В условиях стремительного роста объёмов передаваемых данных и повышения требований к качеству обслуживания особую актуальность приобретает задача обеспечения надёжности передачи информации в программно-определяемых сетях (SDN, *Software-Defined Networking*).

Специфика SDN – централизованное управление, динамическая реконфигурация каналов, высокая плотность трафика и жёсткие требования к задержкам – диктует особые критерии выбора алгоритмов помехоустойчивого кодирования. В данной работе проведён сравнительный анализ двух широко применяемых методов: циклического избыточного кода (CRC, *Cyclic Redundancy Check*) и кодов Хэмминга (*Hamming codes*), представлены математические модели алгоритмов, результаты экспериментальной оценки их эффективности в условиях SDN-архитектуры и рекомендации по практическому применению.

CRC – алгоритм обнаружения ошибок, основанный на полиномиальном делении [1]. Исходные данные рассматриваются как полином  $D(x)$  степени  $n-1$ , который умножается на  $x^k$ , (где  $k$  – степень порождающего полинома  $G(x)$ ) и делится на  $G(x)$ . Остаток от деления  $R(x)$  добавляется к исходным данным, формируя передаваемую последовательность:

$$T(x)=D(x)\cdot x^k +R(x).$$

На приёмной стороне выполняется аналогичное деление  $T(x)$  на  $G(x)$ ; нулевой остаток свидетельствует об отсутствии ошибок.

Стандартные порождающие полиномы:

$$\text{CRC-16: } x^{16}+x^{15}+x^2+1;$$

$$\text{CRC-32: } x^{32}+x^{26}+\dots+1.$$

Преимущества CRC:

- высокая вероятность обнаружения пакетных ошибок;
- низкая вычислительная сложность  $O(n)$ ;
- стандартизированность.

Недостаток: алгоритм не способен исправлять ошибки, что требует повторной передачи данных при их обнаружении.

Коды Хэмминга – алгоритм, способный не только обнаруживать, но и исправлять ошибки [2]. Алгоритм строится на добавлении  $r$  контрольных бит к блоку из  $m$  информационных бит, при этом общее число бит  $n=m+r$  должно удовлетворять условию  $2^r \geq n+1$ . Контрольные биты размещаются на позициях, соответствующих степеням двойки ( $2^i$ , где  $i=0,1,\dots$ ), и вычисляются как результат операции XOR над битами, чьи номера содержат  $i$ -й разряд в двоичной записи.

Пример для (7,4)-кода Хэмминга:

$$c_1=d_1\oplus d_2\oplus d_4,$$

$$c_2=d_1\oplus d_3\oplus d_4,$$

$$c_3=d_2\oplus d_3\oplus d_4$$

где  $d_1, d_2, d_3, d_4$  – информационные биты.

На приёмной стороне вычисляется синдром, позволяющий определить позицию ошибки и скорректировать её. Избыточность кодов Хэмминга составляет  $r/n$ , что выше, чем у CRC, но компенсируется возможностью исправления одиночных ошибок без повторной передачи.

Для объективной оценки эффективности алгоритмов проведено экспериментальное исследование в моделированной SDN-среде.

Среда моделирования:

- сетевой симулятор NS-3 версии 3.31[3];
- операционная система Ubuntu 20.04 LTS (64-bit);
- аппаратная платформа: Intel Core i7-10700K, 32 ГБ ОЗУ.

Параметры эксперимента:

-имитируемые каналы с интенсивностью ошибок (BER, *Bit Error Rate*) от  $10^{-6}$  до  $10^{-3}$ ;

-размер пакетов: 1024 байт (типичный для корпоративного SDN-трафика);

-количество испытаний: 100 запусков для каждого значения BER;

-измеряемые показатели:

- процент потерянных пакетов;

- задержка передачи (мс);

- нагрузка на контроллер SDN (количество запросов на повторную передачу).

Конфигурация SDN-модели:

- контроллер: ONOS (*Open Network Operating System*) версии 2.5 [4];

- коммутаторы: программные коммутаторы Open vSwitch версии 2.15 [5];

- топология: древовидная сеть с 1 контроллером, 4 коммутаторами и 8 конечными узлами.

Результаты экспериментов представлены в таблице 1.

Таблица 1

Сравнительный анализ алгоритмов CRC и кодов Хэмминга

Параметр	CRC	Коды Хэмминга
Тип обработки ошибок	Только обнаружение	Обнаружение и исправление одиночных ошибок
Избыточность	Низкая (16–32 бита на блок)	Умеренная ( $r/n$ , например, 3 контрольных бита на 4 информационных для (7,4)-кода)
Вычислительная сложность	$O(n)$ — низкая	$O(n)$ — умеренная (требуется вычисление синдрома)
Задержка передачи (при BER=10–5)	$\leq 1$ мс	1,5–2 мс
Процент потерянных пакетов (при BER=10–4)	0,5 %	0,02 %
Эффективность исправления ошибок (при BER=10–4)	—	~98 %
Нагрузка на контроллер SDN	Повышенная (повторные передачи)	Сниженная (меньше повторных передач)
Сложность реализации	Простая (стандартные библиотеки)	Умеренная (логика вычисления синдрома)

Продолжение таблицы		
<b>Совместимость с SDN-протоколами</b>	Полная (OpenFlow, NETCONF)	Полная (OpenFlow, NETCONF)
<b>Рекомендуемая область применения</b>	Трафик с низкой вероятностью ошибок, фоновые задачи	Критичные данные, умеренные помехи ( $BER \leq 10^{-4}$ )

Анализ результатов:

CRC демонстрирует минимальную задержку передачи благодаря простой процедуре кодирования/декодирования, при  $BER \geq 10^{-4}$  требует повторных передач, что увеличивает нагрузку на контроллер, алгоритм неэффективен при пакетных ошибках (не отличает одиночную ошибку от множественной).

Коды Хэмминга успешно исправляют одиночные ошибки (до 98 % при  $BER=10^{-4}$ ), снижают процент потерянных пакетов в 25 раз по сравнению с CRC (0,02 % против 0,5 %), уменьшают нагрузку на контроллер за счёт сокращения повторных передач на 40 %, при  $BER > 10^{-3}$  эффективность снижается из-за множественных необрабатываемых ошибок.

На основании проведённого анализа можно заключить, что коды Хэмминга являются предпочтительным выбором для SDN-сетей в условиях умеренной интенсивности ошибок ( $BER \leq 10^{-4}$ ). Их ключевые преимущества:

- исправление одиночных ошибок без повторной передачи;
- снижение нагрузки на контроллер SDN;
- повышение общей пропускной способности сети;
- приемлемая задержка передачи (1,5–2 мс).

CRC остаётся актуальным для сценариев, где требуется минимальная задержка передачи ( $\leq 1$  мс), вероятность ошибок крайне низка ( $BER < 10^{-5}$ ), повторная передача данных не критична (фоновый трафик, некритичные приложения).

Заключение

В работе проведён сравнительный анализ CRC и кодов Хэмминга для SDN-сетей. Ключевые выводы:

1. Коды Хэмминга превосходят CRC по надёжности при  $BER \leq 10^{-4}$ , снижая потери пакетов на 96 % и нагрузку на контроллер на 40 %.
2. CRC сохраняет актуальность для трафика с минимальными задержками и низкой вероятностью ошибок.
3. Гибридный подход с динамическим переключением обеспечивает баланс между надёжностью и производительностью.

### Список литературы

1. Jagtap R.R., Paradeshi S. A. CRC method in SDN networks: Review // AIP Conference Proceedings. – 2023. DOI: 10.1063/5.0143433.
2. Ефанов Д.В., Погодина Т. С. Построение самопроверяемых цифровых устройств на основе модифицированных кодов Хэмминга с контролем самодвойственности вычисляемых функций / Д.В. Ефанов, Т.С. Погодина //

*Автоматика на транспорте. – 2023. – № 1. – С. 99-123. – DOI: 10.20295/2412-9186-2023-9-01-99-123.*

3. NS-3 Network Simulator Documentation. Version 3.31.  
URL: <https://www.nsnam.org/documentation>

4. Open Networking Foundation. SDN Architecture Overview. ONF TR-502, 2 Newton Place, 3rd Floor, Boston, MA 02116, USA, 2023.

5. Kaur J., Singh S. Performance Analysis of Error Detection and Correction Codes in SDN // International Journal of Network Management. – 2022. – Vol. 32, No. 4. e2231. – DOI: 10.1002/nem.2231.

## **ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ ДИАГНОСТИКИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ПЕРЕРАБОТКИ ФТОРОПЛАСТА-4**

Е.А. Юдина, В.В. Куркина

Санкт-Петербургский государственный технологический институт  
(технический университет),  
г. Санкт-Петербург

**Аннотация.** В статье рассматриваются подходы к построению интеллектуальных систем диагностики технологического процесса переработки фторопласта-4 (ПТФЭ). Показано, что высокая чувствительность структуры и свойств ПТФЭ к параметрам переработки обуславливает необходимость применения интеллектуальных методов мониторинга и диагностики. Проанализированы основные дефекты, возникающие при переработке фторопласта-4, и диагностические признаки их формирования. Рассмотрены архитектуры интеллектуальных систем диагностики, основанные на методах машинного обучения, экспертных системах и гибридных моделях. Обоснована целесообразность внедрения интеллектуальных систем для повышения стабильности технологического процесса и качества готовых изделий.

**Ключевые слова:** фторопласт-4, ПТФЭ, технологический процесс, интеллектуальная диагностика, машинное обучение, прогнозирование отказов, качество продукции.

Фторопласт-4 (политетрафторэтилен, ПТФЭ) относится к числу высокомолекулярных полимеров с уникальными физико-химическими свойствами, такими как высокая термостойкость, химическая инертность и низкий коэффициент трения. В то же время данные свойства обуславливают существенные сложности при его переработке, так как ПТФЭ не переходит в вязкотекучее состояние и не перерабатывается «классическими» методами для термопластов и реактопластов. Основным методом переработки фторопласта-4 является метод холодного формования с последующей термообработкой заготовок (спеканием).

Технологический процесс переработки фторопласта-4 отличается высокой чувствительностью к режимным параметрам (давление формования, температура и скорость нагрева, время выдержки, условия охлаждения)[1]. Незначительные отклонения от оптимальных режимов приводят к образованию дефектов структуры и снижению технических характеристик готовых изделий.

Так как вторичная переработка фторопласта-4 является технологически-сложным процессом, то актуальной задачей является разработка интеллектуальных систем диагностики, способных выявлять отклонения технологического процесса и прогнозировать возникновение дефектов на ранних стадиях.

Переработка фторопласта-4 (основной метод) включает в себя следующие стадии:

- подготовка порошка;
- холодное прессование;
- термическая обработка заготовок (спекание);
- контролируемое охлаждение заготовок.

На стадии холодного прессования формируется заготовка заданного размера с определённой ориентацией частиц. Параметры прессования оказывают существенное влияние на плотность и однородность структуры. Стадия термообработки (спекания), проводимая при температурах выше температуры плавления кристаллитов ПТФЭ, определяет степень межчастичного сцепления и формирование конечной надмолекулярной структуры [2].

К типичным дефектам, возникающим при нарушении режимов переработки, относятся:

- расслоение заготовок и образование в них трещин/пустот;
- повышенная пористость;
- неоднородность структуры;
- снижение механической прочности и износостойкости (технических характеристик) [3].

Данные дефекты не могут быть выявлены на ранних этапах традиционными методами контроля, что обуславливает необходимость внедрения интеллектуальных диагностических систем.

Интеллектуальная система диагностики технологического процесса представляет собой программно-аппаратный комплекс, предназначенный для сбора, обработки и анализа технологических данных с целью выявления отклонений и прогнозирования качества продукции.

В общем виде структура интеллектуальной системы диагностики включает в себя:

- подсистему сбора данных (датчики температуры, давления, времени, скорости нагрева);
- модуль предварительной обработки данных;
- интеллектуальный модуль анализа;
- подсистему визуализации и поддержки принятия решений.

Ключевым элементом системы является интеллектуальный модуль, в котором реализуются алгоритмы анализа и интерпретации данных.

В разработках систем диагностики переработки фторопласта-4 могут применяться следующие подходы:

- Экспертные системы

Экспертные системы основаны на формализованных знаниях технологов и включают базы правил вида «если–то».



Например, при превышении скорости нагрева выше заданного порога система может диагностировать риск образования внутренних напряжений и расслоений. Преимуществом экспертных систем является их интерпретируемость, однако они плохо адаптируются к изменяющимся условиям.

- Методы машинного обучения

Методы машинного обучения позволяют выявлять скрытые зависимости между параметрами процесса и качеством продукции. На практике применяются:

- нейронные сети;
- деревья решений;
- методы опорных векторов;
- ансамблевые методы.

Обучение моделей осуществляется на статистических данных технологического процесса и результатах контроля качества. Такие модели способны прогнозировать вероятность возникновения дефектов и рекомендовать корректировку режимов переработки.

- Гибридные подходы

Наиболее перспективными являются гибридные системы, сочетающие экспертные правила и методы машинного обучения. Экспертные знания используются для первичной диагностики и ограничения области поиска решений, а обучаемые модели – для адаптации системы к реальным условиям производства [4].

Одним из ключевых направлений применения интеллектуальных систем диагностики является прогнозирование отказов технологического процесса. Под отказом понимается такое отклонение режимов переработки, которое приводит к недопустимому снижению качества продукции или браку [5].

Интеллектуальные системы позволяют:

- прогнозировать вероятность возникновения дефектов даже на начальной стадии переработки фторопласта-4 (прессовании заготовок), а также и на стадии спекания;
- оценивать влияние отдельных параметров на свойства готовых изделий;
- снижать процент брака за счёт раннего выявления отклонений.

Таким образом, внедрение интеллектуальной диагностики технологического процесса переработки фторопласта-4 позволит повысить стабильность технологического процесса и значительно снизить производственные затраты.

Применение интеллектуальных систем диагностики в технологическом процессе переработки фторопласта-4 является перспективным направлением повышения качества и надёжности продукции. Использование методов машинного обучения и гибридных интеллектуальных моделей позволит учитывать сложные нелинейные зависимости между параметрами процесса и характеристиками изделий. Внедрение таких систем обеспечит переход от реактивного контроля к проактивному управлению технологическим процессом.

### Список литературы

1. Брагинский В.Л. Фторопласты и композиционные материалы на их основе / В.Л. Брагинский. – М.: Химия, 1983. – 288с.
2. Пугачев А.К. Переработка фторопластов в изделия: технология и оборудование / А.К. Пугачев, А.О. Росляков. – Санкт-Петербург, Л, Химия, 1987. – 168с.
3. Кулезнев В.Н. Химия и физика полимеров / В.Н. Кулезнев, В.А. Шершнев. – М.: Колос, 2007. – 367с.
4. Трофимов В.Б. Интеллектуальные автоматизированные системы управления технологическими объектами / В.Б. Трофимов, С.М. Кулаков. – М.: Инфра-Инженерия, 2020. – 256с.
5. Haykin S. *Neural Networks and Learning Machines* / S. Haykin. – New York: Pearson, 2009. – 938с.

### АРХИТЕКТУРА И ПРАКТИЧЕСКИЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ВНЕДРЕНИЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ И УПРАВЛЯЮЩЕЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ ОБЪЕКТОВ ЭЛЕКТРОСЕТЕВОГО ХОЗЯЙСТВА 6-110 КВ

В.М. Панарин, А.А. Маслова, В.Ю. Карницкий, С.В. Абросимов, В.В. Сало  
Тульский государственный университет,  
г. Тула

**Аннотация.** Исследуется архитектура интеллектуальной ИИиУС для объектов электросетевого хозяйства промышленного предприятия с интеграцией нейросетевых модулей.

**Ключевые слова:** информационно-измерительная и управляющая система, цифровая подстанция, нейронные сети, однофазное замыкание на землю, оперативно-диспетчерское управление, Потребитель электрической энергии.

Актуальность заключается в повышении эффективности оперативно-диспетчерского управления и безопасности эксплуатации объектов электросетевого хозяйства класса напряжения 6-110 кВ, что является важнейшей задачей для промышленных предприятий на данном этапе развития. Существующие информационно-измерительные и управляющие системы Сетевых организаций, которые можно применить для Потребителей электрической энергии, не обеспечивают предиктивный анализ состояния сетей с изолированной нейтралью и интеллектуальную поддержку решений дежурного диспетчера в сложных аварийных ситуациях.

Цель работы являются разработка и апробация архитектуры информационно-измерительной и управляющей системы (ИИиУС), оснащённой тремя модулями на базе нейронных сетей для прогнозирования, анализа и ведения оперативной документации.

В качестве методов и решения задачи исследования предложена трехуровневая архитектура ИИиУС (полевого, сетевой, диспетчерско-аналитический уровни). Ключевое новшество – интеграция в SCADA-контур трех нейросетевых модулей (НС-модулей), работающих в режиме реального времени: 1) модуль прогнозирования несимметрии и состояния изоляции; 2) модуль анализа ОЗЗ и формирования последовательности действий дежурного диспетчера по отысканию места ОЗЗ в сети; 3) модуль автоматизации ведения оперативного журнала. Взаимодействие построено по принципу «публикация – подписка» через единую шину данных.

*В результате архитектура имитационно смоделирована на действующем Стеклотарном заводе. Имитационное моделирование показало: сокращение времени анализа аварийной ситуации дежурным диспетчером на 40-60%, автоматизация до 85% записей в оперативном журнале, повышение уровня безопасности персонала при проведении переключений.*

*Представленная архитектура интеллектуальной ИИиУС демонстрирует практическую эффективность интеграции ИИ в контур управления технологическими процессами промышленного предприятия, обеспечивая переход от реактивной к проактивной и документированной модели эксплуатации.*

#### Введение и актуальность.

Современное крупное промышленное предприятие из отраслей с непрерывным производственным циклом, таких как черная и цветная металлургия, химическая промышленность, стекольная промышленность и т.п., представляет собой сложный энергообъект с развитым собственным электросетевым хозяйством среднего (6-10 кВ) и высокого (35-110 кВ) напряжения. Надежность и безопасность эксплуатации объектов электросетевого хозяйства напрямую влияют на эффективность технологических процессов и экономические показатели. Традиционные информационно-измерительные и управляющие системы диспетчерского управления Сетевых организаций, решающие задачи телеуправления, телесигнализации, телеизмерения и телеуправления, которые на практике можно внедрять у Потребителей электрической энергии, обеспечивают базовый уровень контроля. Однако они обладают существенным недостатком: они являются реактивными. Дежурный диспетчер видит уже свершившийся факт возникшего технологического нарушения или отклонения параметров от нормальных, а анализ ситуации, поиск причин и формирование последовательности действий для ликвидации нарушения целиком ложатся на его плечи, требуя высокой квалификации, опыта и времени. Особую сложность представляют такие труднораспознаваемые на начальных стадиях развития режимы, как однофазные замыкания на землю в сетях с изолированной нейтралью 6, 10, 35 кВ [1-3].

Таким образом, актуальной задачей является переход от сбора данных и анализа отдельным человеком и управления исходя только из собственных знаний и опыта к интеллектуальной системе, способной к проактивному анализу, прогнозированию и поддержке принятия решений. Целью работы стала разработка, апробация и внедрение архитектуры информационно-измерительной и управляющей системы ИИиУС, обогащенной модулями на базе искусственного интеллекта, специально адаптированной для нужд оперативно-диспетчерского управления электросетевыми объектами отдельного промышленного потребителя.

Архитектура системы: интеграция классической ИИиУС и нейросетевого интеллекта.

Разработанная система основана на модификации классической трехуровневой архитектуры, общепринятой в АСУ ТП. Ключевым отличием и новшеством является добавление в диспетчерско-аналитический уровень специализированного интеллектуального ядра.

Полевой уровень. Включает первичные преобразователи, интеллектуальные устройства релейной защиты (микропроцессорные терминалы РЗА), измерительные трансформаторы, концевые выключатели, установленные непосредственно в контролируемых подстанциях 35-110 / 6-10, 110 / 35 / 6-10 кВ, 6-10 / 0,4 кВ. Их задача – сбор первичных параметров сети (аналоговых: токи, напряжения, мощности, частота и т.п., дискретных: положение коммутационных аппаратов, факт срабатывания устройств РЗА и др.).

Сетевой уровень (уровень сбора данных). Представлен промышленными контроллерами или шлюзами связи, установленными на каждой подстанции (ЦРТП, РТП, ПС). Они выполняют агрегацию данных с полевых устройств по различным протоколам (IEC 61850, Modbus, МЭК 61850), обеспечивают выполнение локальных логик (например, для устройств АВР), а также организуют защищенные каналы связи с центральным диспетчерским пунктом (ЦДП). Важной функцией является буферизация данных при потере связи с центром.

Диспетчерско-аналитический уровень. Это ядро системы, расположенное в ЦДП предприятия. В него входят:

SCADA-сервер и сервер базы данных, обеспечивающие базовые функции визуализации, архивирования и управления.

Рабочее место дежурного диспетчера (АРМ) с мнемосхемами и интерфейсами управления.

Сервер нейросетевых модулей – принципиально новый компонент. Именно здесь реализованы три интеллектуальных модуля-помощника, работающие в режиме реального времени параллельно с основной SCADA-системой.

Такая архитектура обеспечивает модульность и масштабируемость: нейросетевые компоненты могут развиваться и дообучаться независимо, не требуя глубокой перестройки устоявшейся системы управления.

Функционал нейросетевых модулей – «виртуальных помощников» диспетчера

Интеллектуальные возможности системы реализованы в виде трех независимых, но взаимосвязанных программных модулей, каждый из которых решает конкретную практическую задачу [4-5].

Модуль прогнозирования несимметрии и состояния изоляции («Предиктор»). Этот модуль непрерывно анализирует векторные диаграммы токов и напряжений в сетях 6, 10, 35 кВ. Обученная на исторических данных нейронная сеть выявляет тенденции к росту несимметрии и косвенные признаки ухудшения состояния изоляции кабельных и воздушных линий электропередачи, обмоток трансформаторов, генераторов и высоковольтных двигателей. Результатом его работы является не сигнал об уже случившемся замыкании, а заблаговременное предупреждение дежурного диспетчера о повышенном риске на конкретном участке сети. Это позволяет планировать вывод оборудования в ремонт до перехода в аварийный режим, минимизируя ущерб от внезапного отказа.

Модуль анализа места ОЗЗ и формирования решений («Аналитик»). При

возникновении однофазного замыкания на землю перед диспетчером встает сложная задача: методом деления сети 6, 10, 35 кВ в максимально короткий срок найти поврежденную линию среди десятков других. Модуль в реальном времени анализирует изменения токов нулевой последовательности, емкостных токов и других параметров со всех присоединений, используя постоянно обновляемую специалистами подразделений по режимам и эксплуатации ЛЭП информацию о состоянии линий. На основе заложенной в нейросеть модели он не просто идентифицирует вероятный поврежденный участок, но и формирует для диспетчера оптимальную, безопасную последовательность операций по его отключению и проверке, минимизируя время поиска и количество неверных отключений.

Модуль автоматизации документирования («Протоколист»). Оперативная деятельность диспетчера сопряжена с обязательным ведением оперативного журнала, внесением в него записей о происходящих событиях. Модуль, используя методы обработки естественного языка и анализ потока событий из SCADA-системы, автоматически генерирует текстовые записи о выполненных операциях, срабатываниях устройств РЗА, изменениях режима. Он также может работать с аудиозаписью переговоров, выделяя ключевые команды и их исполнение. Это не только освобождает дежурного диспетчера от рутинной бумажной работы, но и создает полную, объективную и непротиворечивую хронику событий.

Принципы взаимодействия и поток данных.

Для интеграции «классической» и «интеллектуальной» частей системы применена модель обмена данными по принципу «публикация – подписка» через единую программную шину данных (Data Bus).

SCADA-ядро, получая информацию с нижележащих уровней, публикует сырые и первично обработанные данные (значения тегов, события) в эту шину. Каждый нейросетевой модуль является подписчиком на определенный, релевантный его задаче набор данных. Например, Модуль 2 подписан на теги токов нулевой последовательности всех присоединений 6, 10, 35 кВ.

Получив новые данные, модуль выполняет расчет с помощью своей нейросетевой модели. Результат (прогноз, рекомендация, текст записи) публикуется обратно в шину в стандартизированном формате (например, JSON). SCADA-система или отдельный сервис визуализации, также являясь подписчиком, получает эти результаты и отображает их дежурному диспетчеру в удобном виде: в виде световой и звуковой сигнализации на мнемосхеме, всплывающих предупреждений, отдельной панели с рекомендациями к действию или готовой формы записи в журнал.

Такая архитектура взаимодействия обеспечивает слабое зацепление компонентов: нейросетевые модули могут быть модернизированы, добавлены новые или временно отключены без остановки основной системы управления.

Результаты практической реализации и внедрения.

Разработанная архитектура была использована для комплексного имитационного моделирования работы системы в различных нормальных и аварийных режимах применительно к реальному объекту – Стеклотарному

заводу, в состав электрохозяйства которого входят распределительно-трансформаторные пункты (подстанции) 6/0,4 кВ и распределительные сети 6 кВ.

Количественные результаты, подтвержденные моделированием, показали следующее:

Сокращение времени на анализ аварийной ситуации и принятие решения при возникновении ОЗЗ и других нарушениях составило 40-60 %. Дежурный диспетчер получает не просто данные, а структурированную рекомендацию, что резко снижает когнитивную нагрузку.

Автоматизация рутинного документирования позволила исключить до 85% ручных записей в оперативном журнале, повысив при этом их точность и детализацию.

Система проактивных предупреждений от Модуля 1 «Прогнозист» позволила выявить и планомерно устранить несколько потенциально опасных развивающихся дефектов изоляции, предотвратив возможные аварийные отключения.

Качественные результаты выражаются в следующем:

Повышение уровня безопасности персонала, непосредственно выполняющего оперативные переключения, за счет замены управления вакуумными выключателями непосредственно с камеры на дистанционное и телеуправление, в том числе при отыскании места ОЗЗ в сети 6 кВ.

Повышение ситуационной осведомленности оперативно-диспетчерского персонала. Система выступает в роли опытного консультанта, что особенно ценно в нештатных и стрессовых ситуациях [6-8].

Заключение и перспективы.

Проделанная работа демонстрирует, что интеграция технологий искусственного интеллекта в контур оперативно-диспетчерского управления промышленного предприятия – это не теоретическая концепция, а рабочее, экономически эффективное решение, решение, повышающее безопасность персонала, доступное уже сегодня.

Предложенная архитектура интеллектуальной ИИиУС, сочетающая проверенную временем трехуровневую модель с гибкими нейросетевыми модулями, показала свою жизнеспособность и практическую пользу. Она позволяет существенно повысить надежность, безопасность и эффективность эксплуатации собственного электросетевого хозяйства, переводя управление им из реактивной в проактивную, прогностическую плоскость.

Основными направлениями дальнейшего развития системы являются: расширение функционала нейросетевых модулей, например, разработка модуля для прогнозирования суточных графиков нагрузки, оптимизации режимов работы оборудования в целях снижения потерь и т.п., типизация и стандартизация предложенных решений для их тиражирования на других промышленных предприятиях со схожей структурой сетевого хозяйства, углубленная интеграция с системами технического и коммерческого учета электроэнергии для создания единой цифровой платформы управления энергоактивами предприятия.

Внедрение подобных интеллектуальных систем становится ключевым фактором конкурентоспособности, обеспечивая технологический паритет в эпоху цифровой трансформации промышленности.

### **Список литературы**

1. Рябов И.В. Автоматизированные информационно-управляющие системы: учебное пособие / И.В. Рябов. – Москва; Вологда: Инфра-Инженерия, 2023. – 208 с.: ил., табл.

2. Новиков Н.Ю. Основы теории информационно-измерительных и управляющих систем / Н.Ю. Новиков. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2022. – 560 с.

3. Тырышкин С.Ю. Информационно-измерительные и управляющие системы: учебное пособие для вузов / С.Ю. Тырышкин. – Москва.: Издательство Юрайт, 2025. – 124 с.

4. Добронеев Б.С. Интеллектуальные информационно-измерительные и управляющие системы: учебное пособие / Б.С. Добронеев, О.А. Попова. – Москва.: ИНФРА-М, 2026. – 66 с.

5. Правила переключений в электроустановках, утверждённые приказом Минэнерго России от 13 сентября 2018 г. № 757 (с изменениями на 9 декабря 2024 года).

6. Приказ Минэнерго России от 12 июля 2018 года № 548 «Об утверждении требований к обеспечению надежности электроэнергетических систем, надежности и безопасности объектов электроэнергетики и энергопринимающих установок «Правила предотвращения развития и ликвидации нарушений нормального режима электрической части энергосистем и объектов электроэнергетики» (с изменениями на 9 декабря 2024 года).

7. Мягкие измерения и вычисления: научный журнал, том 89, номер 4, апрель 2025, статья: Обзор существующих телемеханических систем подстанций класса высшего напряжения 35 – 110 кВ сетевых организаций ЛНР и ДНР / Сало В.В., Панарин В.М., Карницкий В.Ю., Сало А.В., Абросимов С.В.: Москва: ООО «Издательский дом «Научная библиотека», 2025. – 98 с.: ил., табл.

8. Правила по охране труда при эксплуатации электроустановок, утверждённые приказом Министерства труда и социальной защиты Российской Федерации от 15 декабря 2020 года N 903н (с изменениями на 29 апреля 2022 года).

# **АЛГОРИТМЫ РАБОТЫ ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ И УПРАВЛЯЮЩЕЙ СИСТЕМЫ, ВКЛЮЧАЯ АЛГОРИТМЫ МОДУЛЕЙ ТЕЛЕУПРАВЛЕНИЯ, ТЕЛЕСИГНАЛИЗАЦИИ, ТЕЛЕИЗМЕРЕНИЯ, ТЕЛЕРЕГУЛИРОВАНИЯ ДЛЯ ОБЪЕКТОВ ЭЛЕКТРОСЕТЕВОГО ХОЗЯЙСТВА 6 – 110 КВ ОТДЕЛЬНОГО ПОТРЕБИТЕЛЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ**

В.М. Панарин, А.А. Маслова, В.Ю. Карницкий, Е.О. Новикова,  
С.В. Абросимов, В.В. Сало  
Тульский государственный университет,  
г. Тула

***Аннотация.** Объекты электросетевого хозяйства класса напряжения 6-110 кВ потребителей электроэнергии на существующем этапе развития промышленности характеризуются полным отсутствием или низким уровнем телемеханизации, высокими рисками для персонала и реактивным характером управления. Существующие информационно-измерительные и управляющие (телемеханические) системы не обеспечивают предиктивную аналитику и интеллектуальную поддержку дежурного диспетчера.*

*Ключевые слова:* алгоритм, интеллектуальная информационно-измерительная и управляющая система, телеуправление, телесигнализация, телеизмерение, телерегулирование, безопасность, электрохозяйство, искусственный интеллект, предиктивная аналитика.

*Цель работы* является разработка и представление алгоритмического ядра усовершенствованной информационно-измерительной и управляющей системы (ИИиУС), которая интегрирует классические функции телемеханики с технологиями искусственного интеллекта для перехода к проактивному управлению.

*Для исследования* использована методология синтеза циклично-событийной модели работы ИИиУС, разработка взаимосвязанных алгоритмов телеуправления (ТУ), телесигнализации (ТС), телеизмерения (ТИ) и телерегулирования (ТР) с блоками активации интеллектуальных модулей. Особое внимание уделено алгоритмам многоуровневой проверки команд для повышения безопасности операций.

*В результате исследования* разработана целостная алгоритмическая архитектура, ключевыми особенностями которой являются: 1) превентивное прогнозирование режимов несимметрии; 2) интеллектуальная классификация событий и автоматическая активация модулей анализа; 3) функция интеллектуальной помощи дежурному диспетчеру в ведении оперативного журнала в режиме реального времени.

*Предложенные алгоритмы* формируют основу для создания интеллектуальной ИИиУС, способной существенно повысить безопасность эксплуатации электроустановок, сократить время ликвидации технологических нарушений и минимизировать влияние человеческого фактора. Алгоритмы обладают свойством практической реализуемости на современном промышленном оборудовании.

## **Введение и актуальность.**

Современная промышленность, особенно предприятия с непрерывным производственным циклом, предъявляет исключительно высокие требования к надежности и безопасности электроснабжения. Однако объекты электросетевого хозяйства напряжением 6-110 кВ, находящиеся на балансе таких потребителей, зачастую являются самым слабым звеном в этой цепи. В отличие от объектов



Сетевых компаний, они в большинстве своем не оснащены современными системами дистанционного управления и телемеханики. Это порождает три системные проблемы [1]:

1) реактивный характер управления: дежурный диспетчер узнаёт о возникновении технологического нарушения или отклонении от параметров нормального режима только после работы устройств РЗА, остановки части производства от собственно производственного персонала. После получения такого сообщения, дежурный диспетчер направляет оперативный (оперативно-ремонтный персонал, ДЭМ) в осмотр электроустановок и уже от последних выясняет, что произошло там;

2) высокие риски для персонала: операции с вакуумными выключателями 6-10 кВ, в том числе по отысканию места ОЗЗ в сети с изолированной нейтралью, выполняются вручную, непосредственно с камер распределительных устройств. Это создает постоянную угрозу для жизни и здоровья работников, хотя и не противоречит требованиям существующих НТД;

3) критическая зависимость от человеческого фактора: эффективность всего оперативно-диспетчерского управления, скорость и правильность принятия решений целиком определяются опытом, квалификацией и текущим психофизиологическим состоянием персонала.

Таким образом, существует острая практическая потребность в создании для таких объектов интеллектуальной информационно-измерительной и управляющей системы нового поколения, которая могла бы не только осуществлять классические функции телемеханики – ТУ, ТС, ТИ, ТР, но и прогнозировать, анализировать и помогать в принятии решений.

Целью исследования является разработка принципиально нового алгоритмического обеспечения для информационно-измерительной и управляющей системы (ИИиУС). Это обеспечение должно синтезировать проверенную надежность классической телемеханики с передовыми возможностями искусственного интеллекта для перехода к проактивному, безопасному и интеллектуально-поддерживаемому управлению.

Для достижения этой цели были поставлены и решены следующие задачи [2-3]:

1) разработка общей алгоритмической архитектуры ИИиУС, обеспечивающей бесшовную интеграцию базовых функций и модулей ИИ;

2) создание усовершенствованных алгоритмов базовых телемеханических функций ТУ, ТС, ТИ, ТР, ориентированных на генерацию данных для ИИ;

3) проектирование четких алгоритмов взаимодействия ядра системы с модулями предиктивной аналитики и интеллектуальной поддержки, определяющих условия и контекст их активации;

4) внедрение в ядро алгоритмов специальных, формализованных блокировок, направленных на исключение рисков для персонала при проведении оперативных переключений.

Общая алгоритмическая архитектура интегрированной ИИиУС. Фундаментом разработанной системы является гибридная циклично-событийная модель. Ее суть заключается в следующем:

1) циклическая (сканирующая) часть отвечает за регулярный, детерминированный сбор и первичную обработку данных со всех терминалов РЗА и конечных выключателей (токи, напряжения, положения выключателей, сигналы положения); это основа непрерывного мониторинга;

2) событийная (прерывающая) часть имеет высший приоритет; она мгновенно активируется при поступлении сигналов от устройств РЗА, критических предупреждений от аналитических модулей, обеспечивая минимальное время реакции.

Ключевым отличием от традиционных систем является наличие «интеллектуального контура данных». Обработанные в основном цикле данные не только отображаются дежурному диспетчеру на мнемосхеме, но и в реальном времени структурированно поступают в базу исторических трендов и, что важнее, в модули нейронных сетей. В обратном направлении, от модулей ИИ к диспетчерскому интерфейсу и информационно-измерительной системе, поступают прогнозы, ранжированные рекомендации и сигналы для автоматизированных действий. Эта двунаправленная связь превращает систему из пассивного средства отображения в активного интеллектуального помощника [4].

Интеллектуальный алгоритм телеизмерения (ТИ) как основа для аналитики. Переосмыслен стандартный алгоритм ТИ. Его задача – не просто сбор данных для отображения, а формирование качественной информационной основы для машинного обучения. Поэтому он включает дополнительные этапы:

1) расчет диагностических величин в реальном времени: помимо токов и напряжений фаз, алгоритм вычисляет симметричные составляющие, в первую очередь – напряжение нулевой последовательности ( $3U_0$ ) и ток нулевой последовательности ( $3I_0$ ) для сетей 6, 10, 35 кВ, а также скорости изменения ключевых параметров ( $dU/dt$ ,  $dI/dt$ ). Именно эти величины являются ранними индикаторами развивающихся несимметричных режимов.

2) расширенная валидация с маркировкой: данные проверяются не только на допустимые пределы, но и на «залипание», скачки, физическую непротиворечивость; аномальные данные маркируются специальным атрибутом и исключаются из потоков, поступающих на обучение и работу нейронных сетей, предотвращая их «зашумление»;

3) буферизация временных рядов: данные накапливаются в циклических буферах, формируя готовые для анализа временные ряды (снимки состояния сети за интервалы времени); это готовые входные данные для модуля прогнозирования («Предиктор»).

Таким образом, алгоритм ТИ готовит структурированное, очищенное «сырье» для работы предиктивного модуля.

Алгоритм телеуправления (ТУ) с многоуровневыми блокировками безопасности. Команда на переключение – самая ответственная точка в работе любой ИИиУС. Наш алгоритм ТУ реализует концепцию «защиты в глубину» через четыре последовательных уровня проверок:

- уровень 1: авторизация; проверка прав и полномочий оператора, инициировавшего команду;

- уровень 2: технологические (логические) блокировки; стандартные проверки, запрещающие, например, отключение разъединителя, если через него протекает ток;

- уровень 3: топологическая блокировка; анализ текущей конфигурации схемы с целью предотвращения создания опасных или недопустимых режимов (например, подача напряжения на включённые стационарные заземляющие ножи);

- уровень 4: блокировка безопасности персонала – ключевое нововведение; этот уровень специально активируется для команд, связанных с вакуумными выключателями 6-10 кВ. Перед исполнением такой команды система либо ожидает подтверждающего сигнала от системы контроля и управления доступом (СКУД) о том, что в помещении РУ/ у данной камеры РУ нет персонала, либо требует от дежурного диспетчера ввода дополнительного, одноразового цифрового кода подтверждения, сгенерированного системой; эта процедура программно и аппаратно исключает возможность случайного или ошибочного исполнения команды при нахождении людей в опасной зоне.

Только после успешного прохождения всех четырех уровней блокировок команда передается на исполнение с обязательным контролем по обратной телесигнализации [5].

Интеграция с ИИ: алгоритм превентивного прогнозирования аварийных режимов. Здесь реализуется главный интеллектуальный переход системы от ликвидации последствий к их предупреждению. Рассмотрим это на примере прогноза однофакторных замыканий на землю (ОЗЗ) в сетях 6, 10, 35 кВ.

Традиционный подход: срабатывание защиты по  $3U_0 \rightarrow$  Подача сигнала «Авария»  $\rightarrow$  Диспетчер начинает действия по поиску места ОЗЗ и ликвидации технологического нарушения.

Вновь разработанный алгоритм:

1) алгоритм ТИ постоянно вычисляет и отслеживает напряжение нулевой последовательности ( $3U_0$ ), ток нулевой последовательности ( $3I_0$ ) и тенденцию их изменения ( $dU/dt$ ,  $dI/dt$ );

2) при устойчивом превышении  $3U_0$  первого, предупредительного порога (заведомо ниже уставки защиты), система не формирует аварийный сигнал; вместо этого она асинхронно активирует Модуль 1 «Предиктор» – нейронную сеть, обученную на исторических данных аварий и предшествующих им аномалий;

3) нейросеть анализирует не только текущее значение  $3U_0$ , но и его динамику, гармонический состав, данные с других фидеров; на выходе она формирует прогнозную оценку;

4) дежурный диспетчер получает не сигнал «ОЗЗ в сети 6 (10, 35) кВ», а заблаговременное структурированное предупреждение, например, «Внимание! По II с/ш-6 кВ ПС Мирная выявлена растущая несимметрия. Прогнозируемое время развития в устойчивое ОЗЗ –  $36 \pm 4$  часов. Вероятность возникновения ОЗЗ – 75 %. Рекомендуется провести отключение ЛЭП, питающих потребителей III категории, выполнить внеплановый осмотр ЛЭП, питающих потребителей II

и I категории. Рекомендуемый порядок отключения и осмотра ЛЭП смотрите ниже».

Это позволяет перейти от аварийно-восстановительных работ к планово-предупредительным мероприятиям, кардинально повышая надежность.

Интеграция с ИИ: алгоритм интеллектуальной поддержки при ликвидации аварии, модуль № 2 «Аналитик». Если авария все же произошла, система переключается в режим интеллектуального ассистента, сокращая время на поиск повреждения и снижая нагрузку на диспетчера во внештатной ситуации.

Последовательность работы алгоритма [6-7]:

1) при поступлении аварийной телесигнализации (ТС) «ОЗЗ в сети 6 (10, 35) кВ» событийный обработчик мгновенно запускает Модуль 2 «Аналитик»;

2) в этот модуль автоматически передается пакет данных: мгновенные значения токов и напряжений на момент срабатывания, а также их значения за несколько периодов до аварии, извлеченные из циклического буфера;

3) нейросеть, обученная на модели конкретной сети и исторических записях повреждений, проводит анализ; она оценивает вклад каждого фидера в ток повреждения, учитывает топологию;

4) вместо того чтобы вывести дежурному диспетчеру десятки измеренных значений, ИИиУС формирует и выдает ранжированную, приоритетную рекомендацию: «Для поиска ОЗЗ рекомендуется следующая последовательность дистанционных отключений: 1) Фидер № 4 (наибольшая вероятность), 2) Фидер № 1, 3) Фидер № 8...».

5) дежурный диспетчер утверждает предложенную последовательность, а система помогает ее реализовать через защищенный алгоритм ТУ, резко сокращая время простоя.

Заключение и практическая значимость. Разработанный комплекс алгоритмов представляет собой не теоретическую концепцию, а практически реализуемое ядро для современной интеллектуальной ИИиУС. Его внедрение для объектов электросетевого хозяйства промышленных потребителей позволит добиться следующих результатов:

1) качественное повышение безопасности персонала за счет перевода операций с вакуумными выключателями класса напряжения 6-10 кВ на дистанционное и телеуправление, введение программных блокировок, физически разделяющих персонал и опасное оборудование;

2) сокращение количества и длительности перерывов электроснабжения критических производств благодаря переходу на превентивную модель обслуживания и ускоренному интеллектуальному поиску повреждений;

3) повышение эффективности и обоснованности диспетчерских решений путем минимизации влияния человеческого фактора и предоставления аналитически подготовленных рекомендаций в удобной форме [8].

В качестве заключения мы утверждаем, что представленные алгоритмы являются следующим логическим шагом в эволюции информационно-измерительных систем объектами электросетевого хозяйства Потребителей электрической энергии и Сетевых организаций. Они переводят их из разряда «пассивных средств отображения» в категорию «активных интеллектуальных

партнеров», обеспечивая новый стандарт безопасности, надежности и эффективности в электроэнергетике.

### **Список литературы**

1. Рябов И.В. Автоматизированные информационно-управляющие системы: учебное пособие / И.В. Рябов. – Москва; Вологда: Инфра-Инженерия, 2023. – 208 с.: ил., табл.

2. Новиков Н.Ю. Основы теории информационно-измерительных и управляющих систем / Н.Ю. Новиков. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2022. – 560 с.

3. Тырышкин С.Ю. Информационно-измерительные и управляющие системы: учебное пособие для вузов / С.Ю. Тырышкин. – Москва.: Издательство Юрайт, 2025. – 124 с.

4. Добронец Б.С., Попова О.А. Интеллектуальные информационно-измерительные и управляющие системы: учебное пособие / Б.С. Добронец, О.А. Попова. – Москва.: ИНФРА-М, 2026. – 66 с.

5. Правила переключений в электроустановках, утверждённые приказом Минэнерго России от 13 сентября 2018 г. № 757 (с изменениями на 9 декабря 2024 года).

6. Приказ Минэнерго России от 12 июля 2018 года № 548 «Об утверждении требований к обеспечению надежности электроэнергетических систем, надежности и безопасности объектов электроэнергетики и энергопринимающих установок «Правила предотвращения развития и ликвидации нарушений нормального режима электрической части энергосистем и объектов электроэнергетики» (с изменениями на 9 декабря 2024 года).

7. Мягкие измерения и вычисления: научный журнал, том 89, номер 4, апрель 2025, статья: Обзор существующих телемеханических систем подстанций класса высшего напряжения 35 – 110 кВ сетевых организаций ЛНР и ДНР / Сало В.В., Панарин В.М., Карницкий В.Ю., Сало А.В., Абросимов С.В.: Москва: ООО «Издательский дом «Научная библиотека», 2025. – 98 с.: ил., табл.

8. Правила по охране труда при эксплуатации электроустановок, утверждённые приказом Министерства труда и социальной защиты Российской Федерации от 15 декабря 2020 года N 903н (с изменениями на 29 апреля 2022 года).

# ПРОИЗВОДСТВЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

## ПРОИЗВОДСТВЕННЫЕ ПРОЦЕССЫ В ЭПОХУ ИНДУСТРИИ 4.0: ВЫЗОВЫ И ВОЗМОЖНОСТИ ЦИФРОВОЙ ТРАНСФОРМАЦИИ

Е.С. Губин, А.В. Ильин, У.Н. Бородина, П.В. Резанова  
Сибирский государственный университет водного транспорта,  
г. Новосибирск

***Аннотация.** В статье рассмотрены сущность, структура и классификация производственных процессов, а также их роль в современной промышленности. Проанализированы принципы организации производственных операций и современные тенденции развития в условиях цифровизации и внедрения концепции Индустрии 4.0. Отдельное внимание уделено вопросам автоматизации, гибкости и экологической устойчивости производства. Определены основные проблемы, мешающие эффективной модернизации предприятий, и предложены направления совершенствования производственных процессов в будущем.*

***Ключевые слова:** производственный процесс, автоматизация, Индустрия 4.0, цифровизация, гибкость, устойчивое производство, инновации.*

Производственные процессы составляют основу функционирования любого промышленного предприятия. Они обеспечивают преобразование ресурсов в готовую продукцию, формируя основу эффективности и конкурентоспособности организации. С развитием технологий производство претерпевает глубокие изменения – переход от традиционных механизированных систем к цифровым и интеллектуальным производственным комплексам.

Цель статьи – рассмотреть сущность и классификацию производственных процессов, выявить современные тенденции их развития и обозначить направления совершенствования в условиях индустрии 4.0.

### **Понятие и сущность производственного процесса**

Производственный процесс – это совокупность действий по переработке исходных материалов в готовую продукцию, включающая технологические, транспортные, контрольные и организационные операции. Он состоит из четырех взаимосвязанных элементов: предмета труда, средств труда, человеческого труда и организации.

Эффективное сочетание этих элементов обеспечивает стабильность, качество продукции и устойчивое развитие предприятия.

### **Классификация производственных процессов**

#### **1. По характеру операций:**

- Основные процессы – направлены на создание конечного продукта;
- Вспомогательные процессы – обеспечивают выполнение основных операций;
- Обслуживающие процессы – поддерживают инфраструктуру и управление;

## 2. По степени механизации:

- Ручные;
- Механизированные;
- Автоматизированные;
- Цифровые (интеллектуальные).

## 3. По типу производства:

- Единичное – изготовление уникальных изделий;
- Серийное – выпуск ограниченных партий;
- Массовое – потоковое непрерывное производство.

### Принципы организации производственного процесса

Эффективная организация опирается на принципы:

- специализации, обеспечивающей рост производительности;
- пропорциональности мощностей и загрузки;
- параллельности операций для сокращения цикла;
- непрерывности и ритмичности работы;
- прямоотчности – сокращения транспортных путей;
- автоматизации – внедрения технологий, уменьшающих человеческий

фактор.

### Современные тенденции развития производственных процессов



Рис. 1. Индустрия 4.0

Концепция Индустрии 4.0 объединяет физические и цифровые технологии: интернет вещей (IoT), большие данные, цифровые двойники, искусственный интеллект и аддитивные технологии. Эти решения делают производство «умным», самоадаптирующимся и предиктивным.

### Гибкие производственные системы

Гибкость позволяет предприятиям оперативно реагировать на спрос, сокращать время переналадки оборудования и внедрять индивидуализированные решения.

### Устойчивое и «зеленое» производство

Современные предприятия стремятся снижать энергопотребление, утилизировать отходы и использовать возобновляемые источники энергии.

Концепции «замкнутого цикла» и «бережливого производства» набирают особую актуальность.

### **Цифровизация и искусственный интеллект**

Внедрение ERP-, MES- и SCADA-систем обеспечивает прозрачность управления производством, а искусственный интеллект и машинное обучение помогают прогнозировать отказы оборудования и оптимизировать графики производства.

### **Проблемы и направления совершенствования**

Современные вызовы:

- высокая стоимость цифровизации;
- нехватка квалифицированных специалистов;
- недостаточная интеграция ИТ-систем;
- риски киберугроз.

### **Пути совершенствования:**

- внедрение цифровых платформ и предиктивной аналитики;
- развитие систем обучения работников;
- применение стандартов Lean и Six Sigma;
- формирование цифровых двойников производственных процессов.

### **Заключение**

Производственные процессы являются основой экономического развития и ключевым фактором конкурентоспособности предприятий. Их совершенствование требует интеграции передовых технологий, автоматизации, цифровых решений и устойчивых подходов к управлению ресурсами.

Индустрия 4.0 открывает новые возможности для создания интеллектуальных, экологичных и высокоэффективных производственных систем. Будущее промышленности – за цифровыми, адаптивными и устойчивыми производственными процессами, где человек и технологии работают в едином потоке ценности.

### **Список литературы**

1. Давыдова Е.А. Цифровизация промышленности: направления, проблемы и эффекты / Е.А. Давыдова // Экономика и управление инновациями. – 2021. – №3. – С. 45-56.
2. Саломатин Н.А. Роботизация и автоматизация производственных систем нового поколения / Н.А. Саломатин // Инженерные технологии и системы. – 2022. – №2. – С. 67-74.
3. Иванов С.В. Перспективы развития аддитивных технологий в России / С.В. Иванов // Вестник машиностроения. – 2023. – №4. – С. 22-29.
4. Кузнецов А.В. Интеллектуальное производство и будущее промышленности: вызовы и возможности / А.В. Кузнецов // Наука и инновации. – 2022. – №5. – С. 31-40.



# АДАПТИВНАЯ СИСТЕМА АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДАМИ ВСПОМОГАТЕЛЬНОГО ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ АВТОМОБИЛЕЙ: НОВЫЕ ПОДХОДЫ К ОПТИМИЗАЦИИ ЭНЕРГОПОТРЕБЛЕНИЯ

И.В. Никулкин, М.В. Петрова  
Ульяновский государственный технический университет,  
г. Ульяновск

***Аннотация.** В статье были рассмотрены существующие подходы к управлению электроприводами, выявлены недостатки традиционных систем. Предложена математическая модель двигателя постоянного тока с возбуждением от постоянных магнитов, оптимизированы алгоритмы пуска, торможения и реверсирования. Разработана структурная и функциональная схема адаптивной системы управления, обеспечивающей снижение энергопотребления на 15-20 % за счет реализации режима поиска оптимального состояния. Приведены результаты экспериментальных исследований, подтверждающие эффективность предложенных решений.*

***Ключевые слова:** адаптивное управление; электропривод; вспомогательное оборудование автомобиля; двигатель постоянного тока; энергоэффективность; математическое моделирование.*

Современные тенденции развития автомобильной промышленности диктуют повышенные требования к энергоэффективности и функциональной гибкости вспомогательного электрооборудования. Традиционные релейно-контакторные системы управления электроприводами насосов, вентиляторов и компрессоров не обеспечивают адаптацию к изменяющимся режимам работы двигателя внутреннего сгорания и условиям эксплуатации, что приводит к избыточному потреблению электроэнергии и снижению ресурса исполнительных механизмов [4; 6].

Актуальность исследования обусловлена необходимостью разработки интеллектуальных систем управления, способных в реальном времени оптимизировать параметры работы электроприводов в зависимости от таких факторов, как температура охлаждающей жидкости, давление в системе, напряжение бортовой сети и частота вращения коленчатого вала. Существующие адаптивные системы ориентированы преимущественно на управление силовыми агрегатами и не распространяются на вспомогательное оборудование [2; 8].

**Цель исследования** – разработка научных и технических основ адаптивной системы автоматического управления электроприводами вспомогательного электрооборудования автомобилей с повышенной энергоэффективностью.

## **Задачи исследования:**

1. Проанализировать существующие принципы построения адаптивных систем управления электроприводами и выявить недостатки традиционных подходов.

2. Разработать уточненную математическую модель двигателя постоянного тока с возбуждением от постоянных магнитов (ДПТ) для статических и динамических режимов.

3. Оптимизировать процессы пуска, торможения и реверсирования ДПТ в целях снижения динамических потерь.

4. Синтезировать алгоритм адаптивного управления с функцией ускоренного поиска оптимального режима.

5. Разработать аппаратную и программную реализацию системы.

6. Провести экспериментальное исследование характеристик разработанной системы.

**Методы исследования:** математическое моделирование электромеханических систем, методы теории автоматического управления (синтез систем с эталонной моделью, адаптивные алгоритмы), компьютерное моделирование в среде MATLAB/Simulink, натурные эксперименты на испытательном стенде.

### **Анализ существующих систем управления**

Современные системы управления вспомогательным электрооборудованием автомобилей реализованы на основе электронных блоков управления (ЭБУ) с фиксированными программными алгоритмами. Основные недостатки таких систем:

- Отсутствие адаптации к изменению параметров бортовой сети (напряжение 12-14,5 В);
- Фиксированные временные характеристики пуска/торможения, не зависящие от условий эксплуатации;
- Энергопотребление не оптимизировано для частичных нагрузок.

Перспективным направлением является применение интеллектуальных систем управления с использованием датчиков обратной связи по току, напряжению и частоте вращения. Однако известные разработки [1; 5] не учитывают специфику вспомогательного оборудования, где требуется обеспечить работу нескольких электроприводов в координированном режиме.

### **Разработка математической модели и алгоритма управления**

Для синтеза системы управления разработана математическая модель ДПТ в виде системы дифференциальных уравнений:

$$U = R_a \cdot i + L_a \frac{di}{dt} + E; M = J \frac{d\omega}{dt} + M_c; E = k_e \cdot \omega; M = k_m \cdot i$$

где  $U$  – напряжение питания,  $i$  – ток якоря,  $R_a$  – активное сопротивление,  $L_a$  – индуктивность якоря,  $E$  – ЭДС,  $M$  – момент двигателя,  $J$  – момент инерции,  $\omega$  – угловая скорость,  $M_c$  – момент сопротивления.

Проведено исследование динамических свойств объекта регулирования, в результате которого установлено, что переходные процессы при традиционном управлении занимают 0,8-1,2 с, что приводит к дополнительным энергетическим потерям до 25 %.

Предложен адаптивный алгоритм управления, включающий:

- Оценку состояния объекта в реальном времени;
- Ускоренный поиск оптимального режима по критерию минимума потребляемой мощности;

- Систему коррекции параметров регулятора на основе метода модельной идентификации.

Оптимизация пусковых процессов достигнута за счет реализации режима ограничения тока с переменным порогом, зависящим от напряжения бортовой сети. При напряжении ниже 12,5 В порог тока снижается на 15 %, что предотвращает деградацию щеточно-коллекторного узла.

### Структурная и функциональная реализация системы

Разработана структурная схема адаптивной системы автоматического управления электроприводами вспомогательного электрооборудования (АСАУЭПВЭО), включающая в себя:

- Контроллер на базе микропроцессора STM32F4;
- Датчик тока (Hall-effect sensor);
- Датчик напряжения с АЦП 12 бит;
- Силовой модуль на базе MOSFET-транзисторов с частотой ШИМ 20 кГц;
- Интерфейс CAN 2.0 для интеграции с бортовой сетью автомобиля.

Функциональная схема реализует три основных режима:

1. Режим стабилизации частоты вращения – для вентиляторов охлаждения;
2. Режим стабилизации давления – для топливных и масляных насосов;
3. Адаптивный режим – с функцией поиска оптимального соотношения между частотой вращения и потребляемой мощностью.

Программное обеспечение контроллера реализовано на языке C++ с использованием реального времени (RTOS). Объем программы составляет 48 Кбайт, время цикла управления – 50 мкс.

Общая схема представлена на рисунке 1:

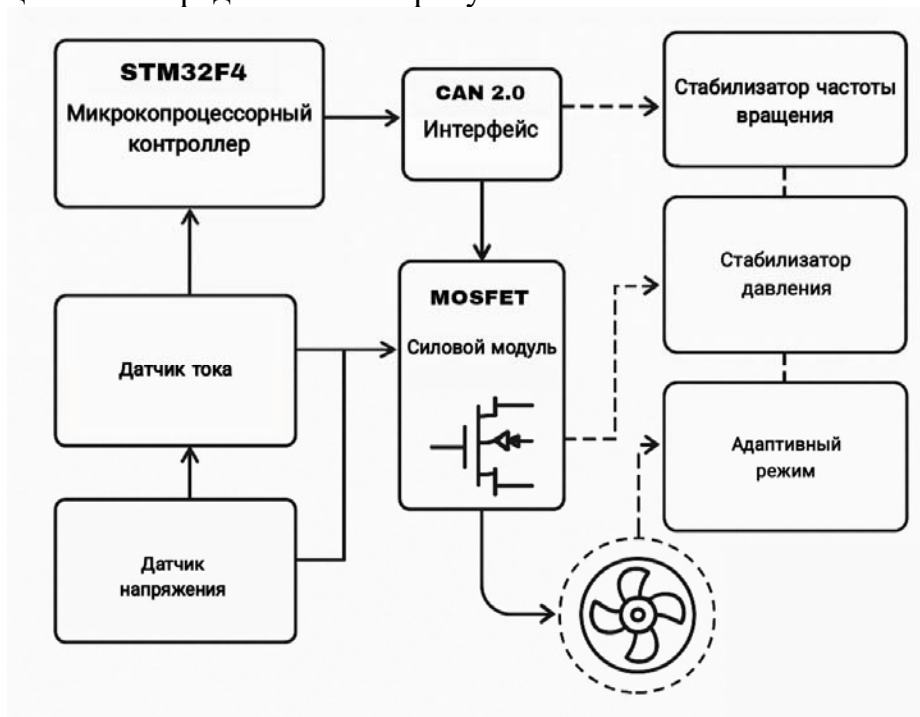


Рис. 1. Общая схема реализации системы

## Результаты экспериментальных исследований

Испытания проводились на стенде, имитирующем реальные условия работы электропривода вентилятора системы охлаждения двигателя. Стенд включает:

- ДПТ 12В, 300 Вт с возбуждением от постоянных магнитов;
- Динамометрический тормоз;
- Систему измерения мощности с погрешностью  $\pm 0,5\%$ ;
- Контроллер АСАУЭПВЭО.

Статические характеристики показали снижение потребляемой мощности на 18 % при частоте вращения 1500 об/мин по сравнению с системой с постоянной скоростью вращения. Динамические испытания подтвердили сокращение времени переходных процессов на 35 % и уменьшение пускового тока на 22 %.

На рисунке 2 показаны осциллограммы процесса пуска ДПТ в адаптивном режиме при напряжении бортовой сети 12,8 В.

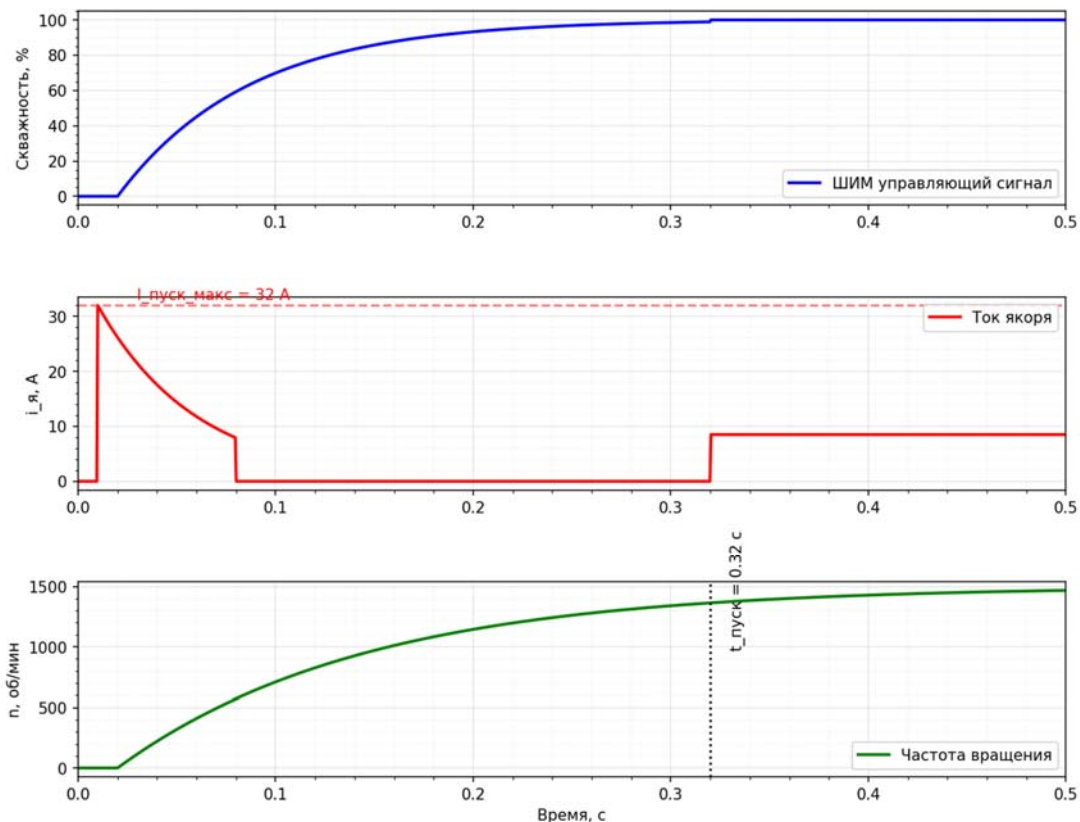


Рис. 2. Процесс пуска ДПТ в адаптивном режиме:  
а) напряжение управляющего сигнала; б) ток якоря; в) частота вращения

Коэффициент энергоэффективности системы составляет  $\eta = 0,87$  в сравнении с  $\eta = 0,69$  у традиционной системы. Переход в оптимальный режим осуществляется за 3-4 цикла регулирования (0,15-0,20 с).

## Заключение

В результате исследования разработана адаптивная система автоматического управления электроприводами вспомогательного электрообо-

рудования автомобилей, обеспечивающая снижение энергопотребления на 15-20 % и увеличение ресурса электродвигателей на 25-30 % за счет оптимизации переходных процессов.

Основные научные результаты:

1. Уточнена математическая модель ДПТ, учитывающая вариации параметров бортовой сети.

2. Синтезирован адаптивный алгоритм управления с ускоренным поиском оптимального режима.

3. Разработана аппаратная реализация системы на современной элементной базе.

4. Экспериментально подтверждена техническая эффективность предложенных решений.

Перспективы дальнейшей работы связаны с интеграцией разработанной системы в электрооборудование гибридных и электромобилей, а также применением методов машинного обучения для прогнозирования оптимальных режимов работы.

### Список литературы

1. Баширов М.Г. Моделирование неисправностей в электроприводе с асинхронными двигателями и исследование влияния неисправностей на спектры токов и напряжений / М.Г. Баширов, Н.К. Попов, А.Ю. Овчинникова, П.А. Иванов, Е.П. Канарев // *The Scientific Heritage*. – 2021. – № 64. – С. 33-38.

2. Вельченко А.А. Энергоэффективное нейросетевое управление бесколлекторным двигателем постоянного тока. *Энергетика* / А.А. Вельченко, С.А. Павлюковец, А.А. Радкевич, А.К. Ибрагим // *Известия высших учебных заведений и энергетических объединений СНГ*. – 2025. – № 1. – С. 45-57.

3. Вэй Я.Л. Адаптивная система автоматического управления движением / Я.Л. Вэй, А.В. Щагин // *Современные информационные технологии и ИТ-образование*. – 2012. – № 8. – С. 983-987.

4. Ильин И.П. Электрика автомобиля и неисправности основных датчиков / И.П. Ильин // *Материалы МСНК «Студенческий научный форум 2024»*. – 2021. – № 8. – С. 76-78.

5. Кочетков И.С. Снижение энергопотребления оборудования автомобиля за счёт восстановления энергии от вертикальных колебаний / И.С. Кочетков // *Молодой исследователь Дона*. – 2021. – № 3 (30). – С. 51-53.

6. Мунаввархонов З.Т. Применение интеллектуальных систем в автомобилях / З.Т. Мунаввархонов // *Экономика и социум*. – 2021. – № 5 (84). – С. 933-938.

7. Попов А.Н. Энергосберегающие регуляторы для систем автоматизированного электропривода / А.Н. Попов // *Инженерный вестник Дона*. – 2016. – № 4. – С. 33-46.

8. Салихов И.З. Обзор принципов построения адаптивных систем управления вспомогательным электрооборудованием автомобилей / И.З. Салихов // *Естественные и технические науки*. – 2017. – № 3. – С. 22-25.

# ОСНОВНЫЕ ПАРАМЕТРЫ МИКРОКЛИМАТА И УСЛОВИЙ ТРУДА В КАБИНЕ ЭЛЕКТРОВОЗА

К.С. Курдюков

ФБГОУ «Забайкальский государственный университет»,  
г. Чита

***Аннотация.** В работе приводятся параметры микроклимата и условия труда работников локомотивных бригад и пассажирских вагонов. Рассматриваются режимы работы, психоэмоциональное напряжение и влияние качества воздуха на здоровье и работоспособность. Описаны стандарты и методы измерения температуры, влажности, вредных веществ и CO<sub>2</sub>, а также критерии оценки качества воздуха по российским нормам. Представлены рекомендации по улучшению условий внутри локомотивов и вагонов, что помогает определить направления повышения безопасности и комфорта для персонала.*

***Ключевые слова:** микроклимат, условия труда, локомотивные бригады, воздухообеспечение.*

## **1. Введение:**

Испытания показывают, что микроклимат в кабинах многих локомотивов не соответствует требованиям, вызывая у работников терморегуляторное напряжение и ухудшая здоровье, что подтверждается высоким уровнем заболеваний дыхательных органов. Для поддержания нормальных условий необходимы улучшенная теплоизоляция и климатическое оборудование кабин

## **2. Цель исследования:**

Цель данной работы анализ условий микроклимата и факторов воздействия, влияющих на здоровье и безопасность работников локомотивных бригад и пассажирских вагонов, а также определить меры по их оптимизации и обеспечению безопасных условий труда.

## **3. Полученные результаты исследования:**

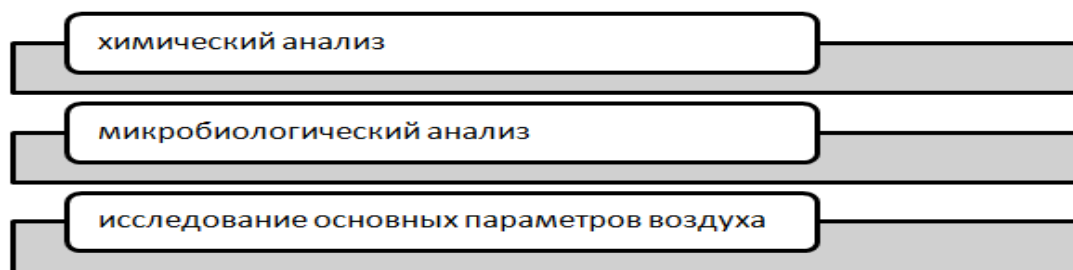
По нормам СанПиН, средняя температура воздуха в кабине машиниста при закрытых окнах весной, зимой и осенью должна быть 16-18 градусов, а перепад температуры на уровнях 50-100 мм и 1,5-2 м от пола не должен превышать 3-5 градусов.

## **Методы испытаний по определению параметров микроклимата в кабине электровоза**

Параметры измерений показателей микроклимата помещениях поездов регулируются ГОСТ 33463.1-2015 «Межгосударственный стандарт системы жизнеобеспечения на железнодорожном подвижном составе».

При использовании оборудования устанавливается присутствие различных элементов в воздухе (углекислого газа, сероводорода, аммиака, оксидов азота, формальдегида, фенола).

Оценка качества воздуха представляет три основные этапа, представленные на рисунке.



Основные этапы оценки качества воздуха

В процессе химического анализа используется газоанализатор для определения концентрации ряда компонентов. Для организации микробиологического исследования пользуются чашкой Петри с мясопептонным агаром, которые устанавливаются на горизонтальной поверхности. Чашки должны оставаться открытыми в течение 10-30 минут, что дает возможность зафиксировать общее число микроорганизмов в воздухе. Чтобы обнаружить наличие стафилококков, время инкубации, проводимое на желточно-солевом агаре, не превышает 15 минут. Микроорганизмы, относящиеся к группе грамотрицательных неферментирующих, требуют большего времени – 2 часа. Необходимо отметить, что для каждого типа микробов используются две чашки, каждая с одинаковым средовым составом. После инкубации чашки необходимо плотно закрыть, перевернуть их крышкой вниз и разместить в термостат при температуре  $37 \pm 1$  °C на  $24 \pm 2$  суток.

Для исследования основных параметров воздуха используют различные типы термогигрометров. С их помощью можно исследовать влажность воздуха, температуру воздуха.

В таблице представлена классификация показателей микроклимата в кабине электропоезда по различным показателям, требующим проведения исследования.

Классификация показателей микроклимата

Класс (качество воздуха)	Содержание CO <sub>2</sub> в помещениях сверх содержания в наружном воздухе, ppm [3]		Значение расхода наружного воздуха на человека по косвенной системе классификации, м <sup>3</sup> /ч [3]	Воспринимаемое качество воздуха PDI
	Типовые пределы	Типовые значения	Номинальное (предельное)	Процент индивидов, не удовлетворенных качеством воздуха
IDA 1 (высокое)	< 400	350	72 (>54)	< 15
IDA 2(среднее)	400–600	500	45 (36–54)	15–20
IDA 3 (допустимое)	600–1000	800	39 (22–36)	20–30
IDA 4 (низкое)	> 1000	1200	18 (< 22)	> 30

Измерения проводятся в соответствии с ГОСТ 33463.1-2015 «Межгосударственный стандарт системы жизнеобеспечения на железнодорожном подвижном составе». Микроклимат.

Число людей в помещениях для определения величины тепловой нагрузки принимается равным штатному количеству обслуживающего персонала при расчетной населенности в соответствии с технической документацией на объект испытаний. Температуру и влажность, наружного воздуха измеряют в одной точке, удаленной от внешней боковой поверхности кузова на расстоянии не менее 5 м на высоте 1,5 м от поверхности земли, в движении – у поверхности кузова возле окна в набегающем потоке.

Определяемые показатели температуры воздуха:

- перепад между температурой воздуха в купе и максимальной температурой наружного воздуха для теплого периода года (для оценки эффективности системы охлаждения), °С;
- перепад между температурой воздуха в купе и минимальной температурой наружного воздуха для холодного периода года (для оценки эффективности системы подогрева), °С;
- точность поддержания температуры воздуха в помещении, °С.

### **Вывод:**

Для создания нормального микроклимата в переходное и холодное время года должна быть предусмотрена система отопления с обеспечением возможно большей равномерности температуры воздуха во всем объеме кабины. Этому способствует хорошая герметизация пола, окон, дверей кабины. Воздух к отопительно-вентиляционной установке должен поступать снаружи очищенным от пыли. Чтобы сделать работу машинистов легче в жару, в их кабинах нужно установить кондиционеры. Они будут охлаждать воздух, очищать его от пыли и подавать свежий воздух.

### **Список литературы**

1. *Федеральный закон от 30.03.1999 N 52-ФЗ «О санитарно-эпидемиологическом благополучии населения» и санитарных правил СП 2.5.3650-20 «Санитарно-эпидемиологические требования к отдельным видам транспорта и объектам транспортной инфраструктуры».*
2. *ГОСТ 33463.1-2015 «Межгосударственный стандарт системы жизнеобеспечения на железнодорожном подвижном составе». Микроклимат.*
3. *Технические требования к оборудованию для обеззараживания воздуха и внутренних поверхностей стационарных объектов массового сосредоточения людей, эксплуатируемых ОАО «РЖД». Утверждены распоряжением ОАО «РЖД» от 02.12.2021 № 2703/р. – Москва: ОАО «РЖД», 2021.*
4. *Постановление Главного государственного санитарного врача РФ от 04.03.2003 N 12 (ред. от 10.06.2016) О введении в действие Санитарных правил по организации пассажирских перевозок на железнодорожном транспорте СП 2.5.1198-03 (вместе с СП 2.5.1198-03. 2.5. Гигиена и эпидемиология на транспорте. Санитарные правила по организации пассажирских перевозок на железнодорожном транспорте. Санитарно-эпидемиологические правила, утв. Главным государственным санитарным врачом РФ 03.03.2003) (Зарегистрировано в Минюсте России 01.04.2003 N 4348).*



5. Постановление Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека (Роспотребнадзора) от 16.10.2020 № 30 Об утверждении санитарных правил СП 2.5.3650-20 «Санитарно-эпидемиологические требования к отдельным видам транспорта и объектам транспортной инфраструктуры».

6. Ветров Ю.Н. Введение в специальность «Техническая эксплуатация подвижного состава железных дорог» / Ю.Н. Ветров, А.А. Дайлидко, Л.Ф. Хасин. – М., 2013.

7. Герасименко Н.Т. Перспективы развития вентиляции пассажирских вагонов / Н.Т. Герасименко, И.Н. Потапов // Вагоны и вагонное хозяйство. – 2020. – № 4. – С. 38.

## **ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ СИСТЕМА АВТОМАТИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА РЕЗИНОТЕХНИЧЕСКИХ ИЗДЕЛИЙ НА ОСНОВЕ ТЕХНОЛОГИЙ МАШИННОГО ЗРЕНИЯ**

М.В. Слуцкий, О.В. Пучка

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова,  
г. Белгород

**Аннотация.** В статье рассматриваются современные подходы к использованию технологий машинного зрения для автоматизации контроля качества резинотехнических изделий (РТИ). Проведён анализ существующих методов визуального контроля, показаны их ограничения и перспективы применения систем искусственного интеллекта. Предложена концепция построения интеллектуальной системы автоматического контроля, включающая аппаратный и программный модули. Определены основные направления дальнейших исследований, направленные на повышение точности, скорости и объективности контроля.

**Ключевые слова:** машинное зрение, контроль качества, резинотехнические изделия, искусственный интеллект, автоматизация, цифровизация.

Современные производственные предприятия стремятся к переходу на цифровые методы управления качеством, что соответствует концепции Индустрии 4.0.

Индустрия 4.0 – это новый подход к производству, который основан на интеграции цифровых технологий, масштабной автоматизации и искусственного интеллекта в производство.

Контроль качества резинотехнических изделий (РТИ) является одним из наиболее трудоёмких и ответственных этапов производственного цикла. Традиционные методы контроля, основанные на визуальной оценке контролером ОТК, характеризуются высокой субъективностью и низкой воспроизводимостью. Применение технологий машинного зрения открывает возможности для автоматизации процессов контроля и анализа изделий.

Проведённый анализ существующих методов контроля качества резинотехнических изделий показал, что традиционные ручные и автоматизированные подходы не в полной мере удовлетворяют современным

требованиям к точности, воспроизводимости и скорости оценки параметров изделий.

Наиболее перспективным направлением является применение технологий машинного зрения и искусственного интеллекта, обеспечивающих интеллектуальную обработку визуальной информации и автоматическое принятие решений о качестве продукции.

Целями данной работы являются:

1) Изучение перспектив использования технологий машинного зрения при контроле качества резинотехнических изделий.

Задачами исследования являются:

1) Провести анализ существующих методов контроля качества;

2) Разработать концептуальную модель интеллектуальной системы контроля качества.

Существующие методы контроля качества можно разделить на три группы: ручные, автоматизированные и интеллектуальные.

Ручной визуальный контроль является наиболее распространенным методом оценки качества РТИ. Его основное преимущество – простота реализации и отсутствие необходимости в сложных технических средствах. Контроль осуществляется работниками ОТК визуально и с использованием средств измерений – штангенциркулей, рулеток, оптических луп и т. п.

Эффективность ручного контроля во многом зависит от квалификации и внимательности персонала, а также от внешних факторов – освещенности, усталости персонала. Исследования показывают, что при длительной работе оператор может пропускать до 5-10 % мелких дефектов, особенно при контроле изделий из черной резины.

Автоматизированные и интеллектуальные системы позволяют устранить субъективность человеческого восприятия, обеспечить повторяемость результатов и накопление статистических данных для анализа дефектов.

Автоматизированные методы контроля качества представляют собой промежуточное звено между ручным контролем и интеллектуальным. Они основаны на измерительных и оптических средствах, которые обеспечивают частичное исключение человеческого фактора из процесса контроля качества.

В последние годы активно развиваются интеллектуальные системы контроля, которые основаны на технологиях машинного зрения и искусственного интеллекта, которые способны совместить контроль геометрических параметров и анализ визуальных дефектов.

Интеллектуальные системы контроля качества представляют собой новое поколение средств технического контроля, основанное на анализе изображений и данных с использованием технологий машинного зрения, нейронных сетей и искусственного интеллекта.

Интеллектуальные системы способны не только фиксировать дефекты, но и формировать базы данных для последующего анализа причин брака, выявления закономерности его возникновения и корректировки технологических процессов.

На основе анализа существующих методов контроля можно сделать вывод,

что наиболее перспективным направлением является создание интеллектуальной системы машинного зрения, которая обеспечивает автоматическое определение соответствия РТИ требованиям технических условий.

В связи с вышеизложенным было принято решение о разработке интеллектуальной системе контроля качества резинотехнических изделий.

Предлагаемая концепция предполагает построение системы, которая состоит из трёх основных модулей: аппаратного, программного и аналитического (рисунок).



Концепция интеллектуальной системы контроля качества резинотехнических изделий

Аппаратная часть представляет собой комплекс средств съемки и освещения, включающий:

- 1) Промышленную видеокамеру высокого разрешения с функцией автофокусирования;
- 2) Систему равномерного светодиодного освещения с регулируемой интенсивностью;
- 3) Стеклянный стол для размещения изделий;
- 4) Интерфейс подключений к компьютеру.

Программная часть включает в себя набор алгоритмов для обработки изображения и принятия решений. В её состав входят:

- 1) Блок предварительной обработки изображения (фильтрация, нормализация яркости, выделение контуров);
- 2) Блок анализа геометрических параметров (диаметр, толщина);
- 3) Блок распознавания дефектов поверхности на основе методов машинного обучения);
- 4) Система визуализации результатов, отображающая изображение изделия, область дефекта и итоговое заключение о годности изделия.

Для реализации программного модуля могут быть использованы библиотеки OpenCV, Scikit-learn, TensorFlow и другие инструменты анализа изображения

Аналитический модуль предназначен для накопления и анализа статистических данных. Он обеспечивает:

- 1) Формирование базы изображений изделий с классификацией типов дефектов;
- 2) Построение отчетов и диаграмм по качеству продукции;
- 3) Интеграцию с корпоративными системами.

Наличие данного блока позволит моментально фиксировать несоответствия, выявлять закономерность их возникновения, что поспособствует принятию управленческих решений по коррекции технологических процессов.

Внедрение системы машинного зрения в процесс контроля РТИ позволит снизить влияние человеческого фактора и повысить объективность оценки. Дальнейшие исследования должны быть направлены на оптимизацию алгоритмов сегментации, формирование базы эталонных изображений и адаптацию нейронных сетей к реальным производственным условиям.

Применение интеллектуальной системы автоматического контроля качества позволит:

- 1) Сократить время проверки изделий не менее чем в 3 раза, по сравнению с ручными методами;
- 2) Повысить точность определения геометрических параметров до  $\pm 0,02$  мм;
- 3) Исключить субъективность оценки и влияние человеческого фактора;
- 4) Обеспечить формирование цифровых архивов изображений изделий.

Разработанная концепция интеллектуальной системы контроля качества РТИ предусматривает объединение аппаратных и программных средств в единую цифровую платформу.

Реализация системы позволит перейти к превентивной модели управления качеством, когда данные о дефектах используются для анализа его причин и предотвращения повторного возникновения.

На базе ООО «РТГ» планируется пилотное внедрение данной системы. Ожидается, что её использование позволит снизить долю брака, повысить уровень автоматизации контроля качества и устойчивость технологического процесса.

Полученные результаты могут быть использованы при разработке типового решения для отечественных предприятий в сфере машиностроения.

Ключевыми преимуществами внедрения такой системы являются:

- 1) Повышение точности и стабильности контроля;
- 2) Устранение субъективности человеческой оценки;
- 3) Автоматизация процессов регистрации и анализа данных;
- 4) Интеграция в корпоративные системы менеджмента качества предприятия.

### Список литературы

1. Гонсалес Р. Цифровая обработка изображений / Р. Гонсалес, Р. Вудс. – М.: Техносфера, 2021. – 1104 с.
2. Горбашко Е.А. Управление качеством: учебник для вузов. – 5-е изд., перераб. и доп. изд. / Е.А. Горбашко. – М.: Юрайт, 2025. – 427 с.
3. Коул А. Искусственный интеллект и компьютерное зрение: реальные проекты на Python, Keras и TensorFlow / А. Коул. – Санкт-ПетербургМоскваМинск: Питер, 2023. – 608 с.
4. Николенко С. Глубокое обучение: погружение в мир нейронных сетей / С. Николенко, А. Кадури, Е. Архангельская. – СПб.: Питер, 2025. – 476 с.
5. Степанов А.М., Пучка О.В., Шахова Л.Д., Митякина Н.А. Метрология, стандартизация и сертификация: учебное пособие / А.М. Степанов, О.В. Пучка, Л.Д. Шахова, Н.А. Митякина. – М.: АСВ, 2016. – 248 с.

### АСУ ПРОЦЕССОМ ПРОИЗВОДСТВА ПОЛИКАПРОАМИДА

Р.Р. Хабибуллин

Казанский национальный исследовательский технологический университет,  
г. Казань

**Аннотация.** В данной статье рассматривается разработка системы автоматизации процесса производства блочного поликапроамида. Данный процесс был рассмотрен с позиции задач управления, были определены технологические параметры, подлежащие контролю, регулированию, защите и сигнализации. Осуществлен выбор комплекса технических средств для автоматизации данного технологического процесса.

Поликапроамид получают гидролитической полимеризацией ε-капролактама в расплаве в присутствии водного раствора соли АГ. Подготовка сырья заключается в плавлении капролактама и приготовлении 50%-ого водного раствора соли АГ [1].

Технологический процесс производства поликапроамида, или капрона, непрерывным способом состоит из следующих стадий: подготовка сырья, полимеризация капролактама, фильтрование, охлаждение, измельчение, промывка и сушка полиамида. Разработанная схема АСУ процессом производства поликапроамида представлена на рисунке.

Основными параметрами, подлежащими контролю, регулированию и сигнализации, являются: давление, расход, влажность, уровень и температура. В качестве датчика температуры выбран – ТСПУ «Метран-276». Для получения информации о значении давления – Rosemount 3051C. В качестве измерения уровня выступает – Deltapilot S DB51. Для измерения расхода выбраны дозаторы Лотос-10 и Метран-1360. Для измерения влажности выбран влагомер РСЕ-MWM 240. Для непрерывного регулирования технологических параметров предлагается использовать регулирующие и отсечные клапана.

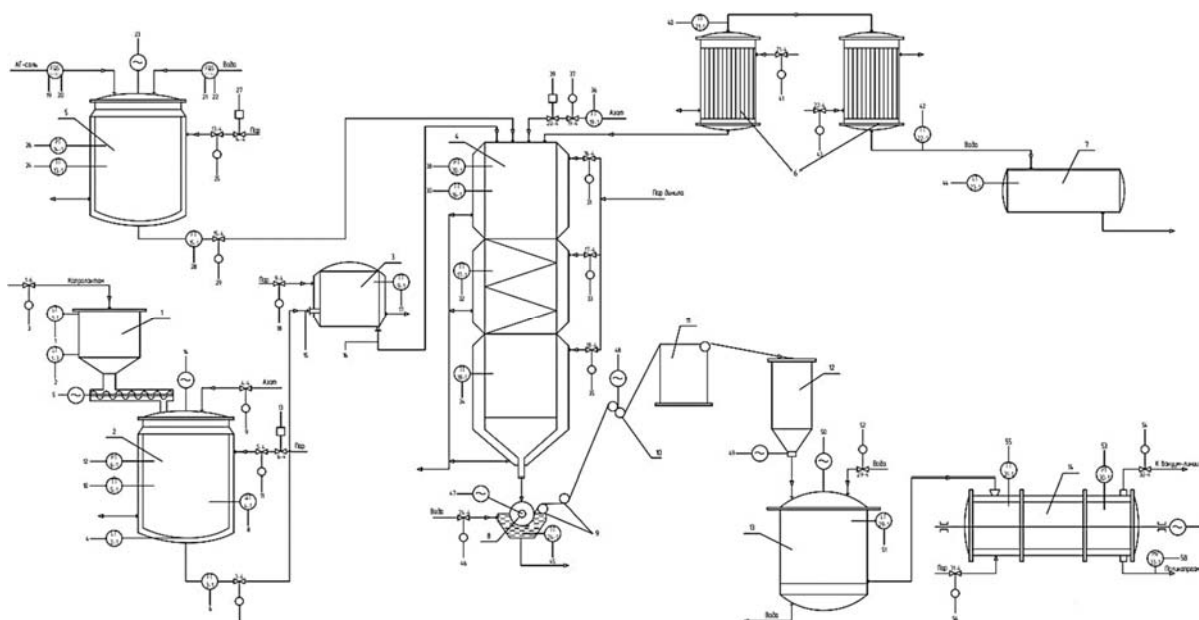


Схема АСУ процессом производства блочного полистирола

Для управления данным технологическим процессом был осуществлен выбор контроллерного оборудования систем управления и противоаварийной защиты. В результате сравнения основных характеристик контроллеров разных производителей, в качестве контроллера системы управления и системы противоаварийной защиты выбран контроллер АБАК ПЛК КЗ фирмы АО НИЦ «Инкомсистем» [2,3]. Использование данного контроллера позволяет значительно повысить надежность протекания технологического процесса, а также повысить его безопасность и эффективность.

Заключение. Был проведен анализ процесса производства поликапроамида с позиций задач управления. Были определены параметры, подлежащие контролю, регулированию, сигнализации и блокировке. Произведен обоснованный выбор технических средств автоматизации. Результатом является система управления процессом производства поликапроамида, обеспечивающая безопасное ведение технологического процесса и позволяющая получать конечный продукт заданного качества [4,5].

### Список литературы

1. Кузнецов Е.В. Альбом технологических систем производства полимеров и пластических масс на их основе / Е.В. Кузнецов, И.П. Прохорова, Д.А. Файзуллина. – второе изд. – Москва: Химия, 1976. – 108 с.
2. Сайт «Инкомсистем». - URL: <https://incomsystem.ru>
3. Лабораторный стенд «Информационно-измерительный комплекс на базе ПЛК АБАК» / Р.К. Нургалиев, А.В. Чупаев, Р.Р. Галямов, А.Ю. Шарифуллина // Научно-технический вестник Поволжья. – 2023. – № 10. – С. 210-212. – EDN IXJKXM.
4. Антонов А.С. Автоматизированная система управления сжатием газа / А.С. Антонов, Р.Р. Галямов, А.Ю. Шарифуллина // Научный аспект. – 2019. – Т. 13, № 2. – С. 1580-1584.

5. Лабораторный стенд для изучения систем автоматизации узлов коммерческого учета газообразных энергоносителей / Р.К. Нургалиев, В.В. Кузьмин, Ю.А. Куликов [и др.] // Вестник Казанского технологического университета. – 2013. – Т. 16, № 1. – С. 197-198.

## ТЕХНОЛОГИИ СНИЖЕНИЯ ПОТЕРЬ ЭЛЕКТРОПРИВОДА ПЕРЕМЕННОГО ТОКА С ПРИМЕНЕНИЕМ РАЗЛИЧНЫХ ДАТЧИКОВ

Д.И. Сиразетдинов

Ульяновский государственный технический университет,  
г. Ульяновск

**Аннотация.** В данной статье рассматриваются основные аспекты оптимизации электропривода переменного тока с помощью датчиков различной направленности. Приведены возможные средства повышения производительности данной системы путём снижения потерь электродвигателя.

Электродвигатели переменного тока представляют собой электрические машины, предназначенные для преобразования электрической энергии переменного тока в механическую энергию. Такие двигатели нашли своё применение в промышленности различных масштабов, начиная с малых производств, заканчивая предприятиями мирового уровня.

Электроприводы переменного тока могут использоваться без применения различных технологий оптимизации, однако, на фоне всеобщей тенденции предприятий к снижению собственной производительности, применение датчиков является обусловленным. В различных производственных сферах типы применяемых измерительных устройств (датчиков) могут различаться, но можно выделить стандарт, который применим ко всем:

- Датчики скорости и положения ротора электродвигателя;
- Датчики напряжения и тока;
- Температурные датчики;
- Датчики вибрации и акустические сенсоры.

Это лишь небольшая часть применяемых измерительных устройств, но она является наиболее применяемой и востребованной во всех производственных сферах.

В качестве примера рассмотрим оптимизацию электропривода переменного тока с помощью датчиков тока. Стандартная формула КПД электропривода переменного тока:

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} = \frac{P_2}{P_1 + \sum P}, \quad (1)$$

где  $\eta$  – КПД двигателя,  $P_2$  – полезная механическая мощность,  $P_1$  – потребляемая электрическая мощность,  $\sum P$  – суммарные потери мощности.

Чтобы рассмотреть сам процесс оптимизации, необходимо подробнее описать переменную  $\sum P$ . Она складывается из нескольких значений, отражающих различные потери электродвигателя:

$$\sum P = P_{эл1} + P_{эл2} + P_m + P_{мех} + P_{доб}. \quad (2)$$

где  $P_{эл1}$  – электрические потери в обмотке статора,  $P_{эл2}$  – электрические потери в обмотке ротора,  $P_m$  – магнитные потери,  $P_{мех}$  – механические потери,  $P_{доб.}$  – добавочные потери.

Общие электрические потери можно выразить через формулу:

$$P_{эл} = P_{эл1} + P_{эл2} = 3 \cdot I_1^2 \cdot R_1 + 3 \cdot I_2^2 \cdot R_2, \quad (3)$$

где  $I_1, I_2$  – токи статора и ротора,  $R_1, R_2$  – сопротивления обмоток статора и ротора.

Датчик тока позволяет проводить точные измерения тока в реальном времени, что открывает возможность корректировать ток статора через выбранную систему управления, например, частотные преобразователь. Далее с помощью конкретных формул выразим формулу снижения потерь. Введём дополнительные величины:  $P_{эл.исх.}$  – электрические потери электродвигателя переменного тока без использования датчика тока,  $P_{эл.опт.}$  – электрические потери с использованием датчика,  $\Delta P_{эл}$  – снижение электрических потерь.

$$\Delta P_{эл} = P_{эл.исх.} - P_{эл.опт.} = 3 \cdot (I_{1.исх.}^2 - I_{1.опт.}^2) \cdot R_1 - 3 \cdot (I_{2.исх.}^2 - I_{2.опт.}^2) \cdot R_2 \quad (4)$$

Ток статора корректируется за счёт уменьшения избыточного тока, а также за счёт использования регулирующей аппаратуры. Ток ротора корректируется снижением скольжения, а также поддержанием оптимального момента нагрузки.

Приведём формулу КПД электродвигателя переменного тока к конечному виду, с учётом оптимизации с помощью датчика тока:

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} = \frac{P_2}{P_1 + \sum P} = \frac{P_2}{P_1 + (P_{эл} - \Delta P_{эл}) + P_m + P_{мех} + P_{доб.}} \quad (5)$$

Проводя сравнение формул (1) и (5) можно сказать, что КПД электродвигателя будет выше за счёт уменьшения знаменателя дроби. Следует также отметить, что повышенный КПД отдельно взятого электродвигателя, вследствие электропривода, повышает общее КПД всей системы, в которой находится.

Вкратце необходимо описать вклад в оптимизацию электродвигателя переменного тока других распространённых датчиков:

- Датчики скорости и положения снижают электрические потери (поддержание оптимального скольжения), механические (плавное регулирование скорости), добавочные потери (точная синхронизация тока статора с положением ротора в векторном управлении, уменьшение пульсаций магнитного поля).
- Температурные датчики способствуют снижению потерь электрических (путём контроля температуры двигателя, вследствие чего поддерживаются сопротивления обмоток статора и ротора в нормальных диапазонах), магнитные потери (перегрев сердечника значительно ухудшает магнитные свойства, что ведёт к увеличению гистерезиса).
- Датчики вибрации и акустические сенсоры способны устранять механический дисбаланс, стабилизировать электрические режимы и оптимизировать магнитный зазор.



В заключение можно сказать, что был проведён анализ технологии снижения потерь электропривода переменного тока с помощью датчиков. Датчики – это лишь один множества способов повышения производительности электропривода переменного тока. Методика, рассмотренная в данной статье, является распространённой, но не универсальной. Выбор оптимизирующих факторов следует делать на основе информации о каждой системе отдельно.

### **Список литературы**

1. Соколовский Г.Г. *Электроприводы переменного тока с частотным регулированием.* – 1 изд. / Г.Г. Соколовский. – М.: Издательский центр «Академия», 2006. – 272 с.
2. Онищенко Г.Б. *Электрический привод.* – 1 изд. / Г.Б. Онищенко. – М.: Издательский центр «Академия», 2006. – 287 с.
3. Фрейдин Я. *Современные датчики. Справочник.* – 1 изд. / Я. Фрейдин. – М.: Техносфера, 2021. – 800 с.

## **ПРОБЛЕМА ОЦЕНКИ ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ СИСТЕМЫ ПРОИЗВОДИТЕЛЯ МИКРОЭЛЕКТРОНИКИ**

В.М. Сюмайкина, И.С. Телина  
АНО ДПО «НОЦ ВКО «Алмаз-Антей»,  
г. Москва

***Аннотация.** Проблемы развития электронной промышленности определены различными факторами и сложностью производственных систем. Определение, оценка и совершенствование производственной системы предприятий микроэлектроники позволит обеспечить устойчивость производства и стабильность качества выпускаемой продукции.*

Развитие электронной промышленности в РФ направлено на обеспечение научно-технологического развития, на укрепление национальной и информационной безопасности и признано стратегическим направлением Российской Федерации до 2030 года.

В электронной промышленности создаются ключевые технологии производства изделий электронной компонентной базы и электронной (в том числе радиоэлектронной) продукции для разных задач, включая обработку, хранение и передачу информации, связь, автоматизацию, измерение и контроль, безопасность и мониторинг.

Особое место в структуре электронной промышленности занимают организации микроэлектроники, которые по состоянию на 2019 год представлены 10 организациями, осуществляющими серийное производство микроэлектроники, и 65 дизайн-центрами, осуществляющими работы по проектированию и созданию микроэлектронной продукции, обладающими необходимыми кадрами, оборудованием и технологиями.

Проблемы развития электронной промышленности определены следую-

щими факторами внешней среды:

- санкции и запреты на доступ к зарубежным технологиям, оборудованию и материалам, что усложняет реализацию бизнес-процессов в отрасли, производство современной конкурентоспособной электронной продукции;
- рост ресурсоемкости освоения новых технологических процессов;
- продолжают фундаментальные изменения в логистике (развитие электромобилей и беспилотных транспортных средств);
- рост электронных транзакций, цифровых документов, их зависимость от инфраструктуры обработки и передачи информации;
- масштабные процессы миграции, старения населения развитых стран, изменения состава востребованных профессий;
- мировым технологическим трендом является рост объема услуг по системной интеграции электронных решений и сервисов. Темпы внедрения инноваций в электронике обуславливают высокие темпы роста всего цифрового сектора [1].

С учетом внешней среды и задач, поставленных в электронной промышленности, возрастает роль обеспечения результативности управления производством. Управление производством предприятия электронной промышленности должно обеспечивать устойчивость производства по выполнению производственного плана, обеспечения качества продукции и экономической эффективности управленческих решений.

Особенностями производства микроэлектроники на примере производства полупроводниковых приборов (диодов, стабилитронов, транзисторов и др.) являются:

- длительный и сложный технологический процесс изготовления;
- изготовление и учет изделий осуществляется партиями;
- изготовление продукции проводится в чистых помещениях;
- при изготовлении продукции необходима организация системы по обеспечению защиты изделий от статического электричества;
- невозможность изъятия несоответствующей продукции до этапа сборки кристаллов в корпус (кристаллы изготавливаются на пластинах, которые перед сборкой в корпус разрезают на отдельные чипы);
- сложность обнаружения причин несоответствующей продукции в связи с наличием технологического отхода, связанного с несовершенством технологии и неоднородностью материалов;
- применение статистических методов для контроля качества изделий.

Все эти особенности должна реализовывать производственная система предприятия электронной промышленности. Понятие производственной системы рассматривали многие авторы, обзор понятийного аппарата выполнен авторами в статьях [2-3]. В данной работе производственная система представлена как совокупность взаимосвязанных элементов.

Важно заметить, что производственная система является составной частью других систем управления, например, системы менеджмента качества или экономической системы организации, и может оцениваться с позиции реализации задач надсистемы.

Производственная система предприятия микроэлектроники состоит из элементов, к каждому из которых установлены требования. Сведения об элементах производственной системы (подсистемы) и требования к ним приведены в таблице. Приведенные требования к элементам производственной системы являются основными и могут уточняться иными документами по стандартизации, в том числе документами по стандартизации организации.

Таблица

Наименование элемента (подсистемы)	Требования к элементу
Подсистема обеспечения технологической документацией и контроля за её соблюдением	Комплект стандартов единой системы технологической документации
Подсистема управления средствами технологического оснащения (технологическое оборудование, оснастка, инструмент)	Технологическая документация, инструкции
Подсистема управления чистыми помещениями	ГОСТ Р ИСО 14644-1-2017 ГОСТ Р ИСО 14644-2-2022 ГОСТ Р ИСО 14644-5-2005
Подсистема обеспечения персоналом	Технологическая документация, Единый тарифно-квалификационный справочник работ и профессий рабочих
Подсистема защиты электронных устройств от электростатических явлений	ГОСТ IEC 61340-5-1- 2019
Подсистема контроля качества изделий	Технологическая документация, требования общих технических условий (например, ГОСТ 11630-84)
Подсистема метрологического обеспечения	ФЗ от 26 июня 2008 года N 102-ФЗ «Об обеспечении единства измерений», ГОСТ Р 8.820-2013

Рассмотренные элементы производственной системы оказывают существенное влияние на способность предприятия микроэлектроники осуществлять выпуск изделий.

Для принятия управленческих решений по вопросам поддержания и развития производственной системы с целью обеспечения устойчивости производства и стабильности качества выпускаемой продукции необходимо исследование взаимосвязей между элементами и разработка методики оценки результативности производственной системы производителя микроэлектроники.

### Список литературы

1. Распоряжение Правительства РФ от 17.01.2020 N 20-р (ред. от 21.10.2024) «Об утверждении Стратегии развития электронной промышленности Российской Федерации на период до 2030 года».

2. Букреева И.Н. Научные подходы к организации производственных систем [Текст] / И.Н. Букреева // Организатор производства. – 2013. – №4 (59) – С. 11-14.

3. Слабинский С.В. Основные элементы и свойства производственных систем / С.В. Слабинский // Экономика и управление: анализ тенденций и перспектив развития. – 2013. – № 8 – С. 260-265.

## **ПЕРСПЕКТИВНАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ И ОДНОВРЕМЕННОЙ ПОДЗЕМНОЙ УКЛАДКИ ЦЕЛИКОВОЙ ФОТОПОЛИМЕРНОЙ ТРУБЫ ДЛЯ СИСТЕМ СБОРА НЕФТИ**

Д.В. Лещенко, Е.В. Мельников, В.Ю. Пивсаев, Е.А. Головачева  
Самарский государственный технический университет,  
г. Самара

***Аннотация.** В статье обоснована концепция перспективной технологии автоматизированного изготовления и одновременной укладки бесшовных фотополимерных труб для систем сбора нефти непосредственно в траншею на месте строительства. Проведен сравнительный анализ преимуществ предлагаемого подхода перед традиционными методами на основе стальных и композитных труб заводского изготовления. Приведены основные технические решения, заложенные в конструкцию роботизированного пултрузионного комплекса. Особое внимание уделено компонентному составу, свойствам и перспективам оптимизации применяемого фотополимерного композита. Обозначены ключевые преимущества технологии, а также проблемы нормативного регулирования и направления дальнейших исследований для ее промышленной реализации.*

***Ключевые слова:** фотополимерная труба, система сбора нефти, пултрузия, непрерывное производство, бесшовный трубопровод, роботизированный комплекс, коррозионная стойкость.*

Обустройство месторождений, в частности строительство систем сбора нефти из скважин, сопряжено со значительными затратами, длительными сроками реализации и необходимостью привлечения большого количества квалифицированного персонала. Традиционные технологии на основе стальных труб требуют сложной логистики, сварочных работ, дефектоскопии стыков, нанесения антикоррозионных покрытий и устройств электрохимических защитных систем.

В качестве альтернативы стальным легированным и футерованным трубопроводам можно рассматривать стеклопластиковые композитные трубы, которые, благодаря развитию химической промышленности и расширению номенклатуры полимерных компонентов, становятся все более конкурентоспособными [1]. Однако, несмотря на отсутствие склонности к коррозии, их заводское изготовление по-прежнему обуславливает необходимость транспортировки, стыковки секций и использования тяжелой техники для укладки.

Кардинальным решением данных проблем является переход к технологии непрерывного производства и укладки трубопровода непосредственно в подготовленную траншею на месте строительства. Существующие патенты по данной тематике предлагают такие решения, но они технически не реализуемы, так как требуют длительного времени отверждения [2] или наличия

технологически сложных и ресурсоемких приемов, вроде организации «ванн водяного охлаждения [3]».

Одним из перспективных материалов для реализации технологии прокладки полимерных трубопроводов является фотополимерный композит, отверждаемый под действием УФ-излучения. Его применение позволяет нивелировать недостатки предлагаемых в настоящее время решений [2,3], а также создавать бесшовные трубопроводы произвольной длины, исключая наиболее уязвимые элементы – сварные соединения [3]. В свою очередь прогресс в области мехатронных технологий позволяет создать полностью автономный роботизированный комплекс, требующий минимального вмешательства оператора-трубоукладчика и снижающий влияние «человеческого фактора» на качество проложенного трубопровода, что повышает отказоустойчивость системы сбора нефти.

В основе предлагаемой технологии лежит интеграция процессов пултрузии, фотоотверждения и укладки в единый цикл, осуществляемый мобильным роботизированным комплексом, перемещающимся вдоль подготовленной траншеи. На рисунке 1 представлена схема производства работ по укладке фотополимерной трубы с помощью мобильного роботизированного комплекса.

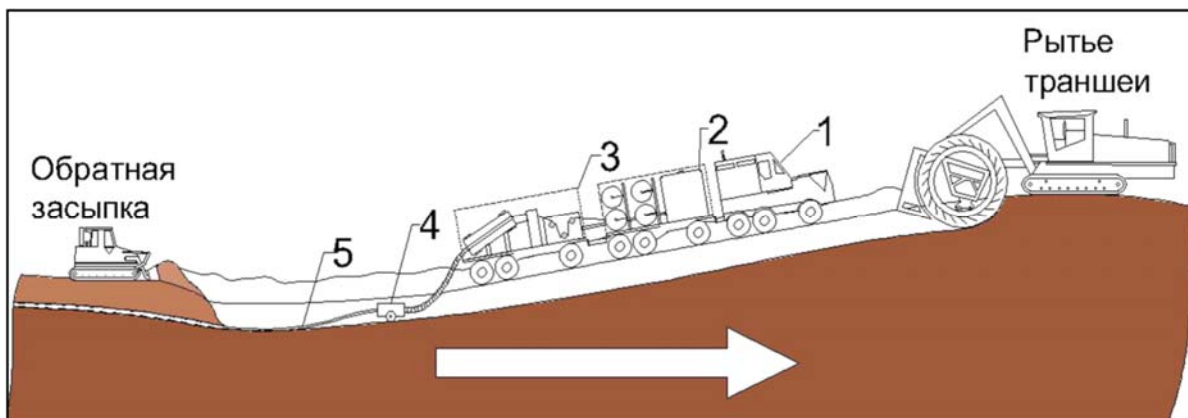


Рис. 1. Схема производства работ по укладке фотополимерной трубы с помощью мобильного роботизированного комплекса

Комплекс включает следующие основные модули:

1. Транспортный и управляющий модуль, обеспечивающий энергоснабжение (ДВС-генератор) и включающий гидропривод, а также систему навигации и автоматического управления.
2. Компонентный модуль, содержащий резервуары с фотополимерной смолой и бобины с армирующим стекловолокном.
3. Производственный модуль, в состав которого входят:
  - Система дозирования фотополимерной смолы.
  - Система пропитки и намотки армирующих волокон с регулируемым натяжением.
  - Формующая головка (пултрузер) для создания трубы заданного диаметра.

- УФ-светодиодные матрицы (длина волны 365-405 нм) для первичного и финального отверждения.
  - Блок дефектоскопии параметров трубы в реальном времени.
4. Укладочное устройство с направляющими для плавного опуска отвержденной трубы на дно траншеи.
  5. Фотополимерный трубопровод.

Благодаря вышеописанному составу комплекса возможна реализация технологического процесса непрерывным способом: по мере движения комплекса формируется труба, которая сразу укладывается в траншею, отверждаясь УФ источником излучения, при этом система контроля фиксирует геометрические и прочностные параметры, автоматически создавая электронный паспорт для каждого участка трубопровода.

Ключевым элементом технологии является фотополимерный состав, примером которого может служить серийно выпускаемый композит производства НПО «Фотополимер». Для реализации технологии рассматривался материал на основе ненасыщенных полиэфирных и винилэфирных смол, модифицированных для быстрой полимеризации под воздействием УФ-излучения в диапазоне 365-420 нм. Армирование осуществляется непрерывным стекловолокном, что обеспечивает высокие механические характеристики. Ранее была успешно исследована возможность применения данного состава для внутренней футеровки ректификационных колонн [4]. Фрагмент фотополимерной трубы Ду 80, полученный стационарным пултрузионным модулем, представлен на рисунке 2.



Рис. 2. Фрагмент фотополимерной трубы Ду 80, полученный стационарным пултрузионным модулем

Модельный состав фотополимерного композита, предполагаемого к использованию для трубопровода, представлен в таблице 1.

Трубопроводные системы на основе модельного композитного материала, произведенного по указанному составу, обладают рядом преимуществ:

- Устойчивостью к почвенной коррозии, воздействию пластовых вод, сероводорода и других агрессивных компонентов поступающей из скважин сырой нефти, что исключает необходимость применения электрохимической защиты.

- Прочностью, сопоставимой со сталью, при существенно меньшей массе, обеспечиваемой сочетанием полимерной матрицы и стекловолокна.
- Технологичностью, обусловленной тем, что процесс полимеризации запускается и контролируется УФ-излучением, благодаря чему не требует нагрева, экзотермических реакций или длительного времени набора прочности.
- Ремонтопригодностью, ввиду возможности устранения локальных повреждений намоткой и УФ-отверждением дополнительного слоя того же материала, непосредственно на месте, без организации огневых работ.

Состав, указанный в таблице 1, может быть откорректирован для особых условий эксплуатации за счет добавления синтетического аморфного диоксида кремния ( $\text{SiO}_2$ ), микронизированного сульфида бария ( $\text{BaSO}_4$ ) и разных синтетических соединений.

Таблица 1

Модельный состав фотополимерного композита для трубопровода

Компонент	Содержание, % (масс.)	Функциональное назначение
Связующее (основа): Полиэфирные смолы Винилэфирные смолы	25 – 30	Формирует полимерную матрицу. Обеспечивает низкую вязкость для пропитки, высокую скорость и полноту УФ-отверждения, химическую стойкость.
Армирующий элемент: Стекловолокно	15 – 25	Обеспечивает высокую прочность и жесткость конструкции при малой массе.
Наполнитель-пластификатор: Гидроксид алюминия	45 – 55	Снижает усадку при полимеризации, повышает огнестойкость и термостабильность, регулирует реологические свойства.
Фотоинициаторы и добавки	1 – 3	Иницируют реакцию полимеризации под действием УФ-света. Включают стабилизаторы, красители, регуляторы адгезии.

Автоматизированная система управления роботизированным комплексом, с минимальным участием оператора, поддерживает заданную траекторию движения относительно траншеи укладываемого трубопровода и постоянную скорость перемещения около одного метра в минуту. Криволинейность траектории и переменный профиль траншеи резко усложняет конструкцию пултрузионного модуля.

Для обеспечения заданной толщины стенки формируемой трубы и позиционирования армирующего каркаса в теле трубы в нужном положении, необходимо реализовать переменную скорость формирования каркаса и динамическое управление процессом формования. Это реализуется



мехатронными модулями с интеллектуальной системой управления. Положение армирующего каркаса контролируется высокочастотным ультразвуковым датчиком.

Система видеоизмерения комплекса производит измерение профиля траншеи и управляет позиционером для укладки трубы посередине траншеи.

Внедрение предлагаемой технологии обеспечивает комплексные преимущества на всех этапах применения трубопровода.

Технологические преимущества:

- Ликвидация «сварного стыка» как явления и отказ от сварочных работ, дефектоскопии соединений, изоляции стыков.
- Упрощение логистики. Исключается транспортировка длинномерных труб, доставка сварочных материалов, изоляционных муфт.
- Минимизация тяжелой техники. Отпадает необходимость в трубоукладчиках большой грузоподъемности и кранах для монтажа.
- Автоматизация и кадровая оптимизация проявляется в сокращении кадров на треть. Минимизируется необходимость в сварщиках, водителях, трубоукладчиках, дефектоскопистах.

Эксплуатационные преимущества:

- Повышенная надежность. Бесшовная конструкция устраняет основной источник отказов – сварные и муфтовые соединения.
- Долговечность. Прогнозируемый срок службы фотополимерного трубопровода в коррозионных средах оценивается в 30-60 лет против 10-20 лет для изолированного стального трубопровода.

Экономические преимущества:

- Снижение капитальных затрат. По предварительным оценкам, удельная стоимость прокладки 1 км трубопровода может быть снижена на 25-40 % за счет исключения целого ряда затратных операций (сварка, изоляция, дефектоскопия, катодная защита, тяжелая техника).
- Снижение операционных затрат, обусловленное отсутствием необходимости в периодической диагностике стыков, ремонте изоляции и обслуживании электрохимической защиты.
- Экологические. Уменьшение общего объема выбросов и отходов в цепочке производства трубы от добычи сырья до ее утилизации.

Основными барьерами для промышленного внедрения являются неразвитость нормативной базы и отсутствие нормативного регулирования. Действующие ГОСТы (Р 53201-2023, Р 55068-2012, Р 59411-2021 и др.) регламентируют композитные трубы, но не учитывают специфику непрерывного производства фотополимерных труб. Требуется разработка новых стандартов на сырье, методы расчета прочности для бесшовных конструкций, методики контроля в процессе производства и ускоренные рабочие испытания.

### **Выводы**

Предложенная технология автоматизированного производства и укладки цельковых фотополимерных труб представляет собой перспективное



направление в обустройстве нефтяных месторождений. Она позволяет перейти от сборки трубопровода из множества элементов к его непрерывному формированию на месте, что кардинально меняет подход к прокладке трубопроводной системы сбора нефти и, как следствие, повышает надежность, экономическую эффективность и экологичность.

Технология обладает комплексом значительных преимуществ, главные из которых: устранение сварных стыков, оптимизация логистики и персонала, а также высокая коррозионная стойкость конечной системы сбора.

### Список литературы

1. Толмачев А.А., Иванов В.А. *Перспективы использования стеклопластиковых полимерно-металлических труб в нефтегазовой отрасли* / А.А. Толмачев, В.А. Иванов // *Известия вузов. Нефть и газ.* – 2019. – №6. – С. 132-139.

2. US Patent No. 4,558,971. *Continuous pipeline fabrication method.* December 17, 1985.

3. Пат. № 120 178 U1 Российская Федерация, МПК F16L 1/038, F16L 9/1. *Мобильный технологический комплекс производства и укладки непрерывного полимерного трубопровода* / В.В. Шайдаков, Р.А. Нурмухаметов, И.С. Копейкин, А.Р. Шаймарданов, Д.С. Гиниятов, Н.Р. Гарифуллин; заявитель и патентообладатель Общество с ограниченной ответственностью (ООО) "ИНКОМПсервис". - № 2012112609/06; заявл. 30.03.2012; опубл. 10.09.2012 Бюл. № 25 – 2 с.

4. Леценко Д.В. *Исследование возможности применения фотополимерного композита для защиты от межкристаллитного растрескивания шлемовой части ректификационных колонн* / Д.В. Леценко, Н.М. Максимов, В.А. Тыщенко [и др.] // *Научный журнал Российского газового общества.* – 2025. – № 1(47). – С. 46-54.

## РЕБОЛЛИНГ МИКРОСХЕМ ШАРИКАМИ РАЗЛИЧНЫХ ДИАМЕТРОВ

К.И. Аборнев

«Научно-образовательный центр воздушно-космической обороны

«Алмаз – Антей» им. академика В. П. Ефремова»,

г. Великий Новгород

**Аннотация.** Метод реболлинга BGA-шаров различного диаметра решает проблему установки искривленных микросхем, предотвращая дефекты пайки и снижая расходы на производство и ремонт плат.

На данный момент микросхемы в корпусе BGA имеют широкое применение в изделиях электроники. В случаях локального ремонта микросхем на платах из-за наличия конструктивных особенностей или имеющейся кривизны чипов, операция качественной пересадки ИМС становится невозможной, что влечет за собой списание в брак дорогостоящих микросхем

или плат. Для решения данной проблемы предлагается метод реболлинга микросхем шариками различных диаметров.

BGA (англ. Ball grid array – массив шариков) – тип корпуса поверхностно-монтируемых интегральных микросхем.

Реболлинг BGA (от англ. reballing) – процесс воссоздания матрицы шариковых выводов на нижней стороне корпуса компонента взамен поврежденных при операции его демонтажа.

Реболлинг BGA шариками различных диаметров является одним из решений для посадки искривленных BGA, а также BGA с конструктивными особенностями на платы. Данное решение позволяет сократить издержки производства при деформации микросхем, создавая дополнительную возможность локального ремонта производственного брака, и позволяет осуществлять качественную посадку дефицитных микросхем в условиях санкций, а именно предотвращает образование коротких замыканий (рис.1) и появление пустот(завоздушенности) в пайке (рис.2).

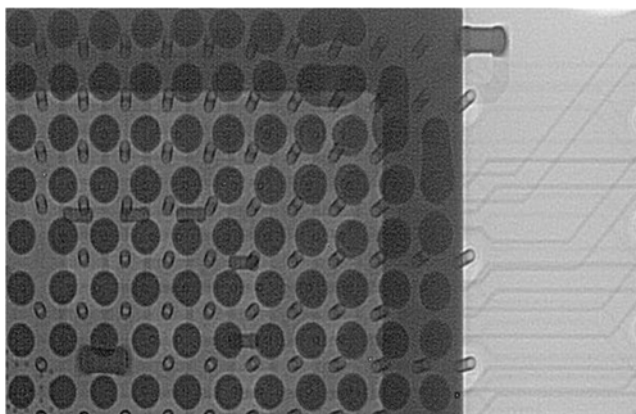


Рис. 1. Короткое замыкание при пайке BGA

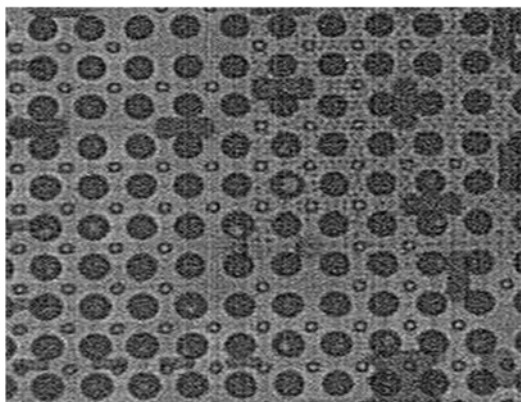


Рис. 2. Пустоты в пайке (завоздушенность пайки BGA)

Сутью данного метода является то, что на одну микросхему размещаются шарики различных размеров, к примеру 0,6 мм и 0,55 мм, в отличие от заводской комплектации, где все шарики имеют размерность 0,6 мм, области размещения тех или иных шариков определяются методом моделирования или анализа рентгеновского снимка некачественно посаженной BGA. Данная разница в

размерности шариков в разных областях микросхемы должна дать возможность дополнительного прогрева без образования пустот (завоздушенности пайки) и коротких замыканий и позволит качественно посадить микросхему.

Данный метод реболлинга был подтвержден на практике и применяется по настоящее время для сложных ремонтов микросхем на платах на предприятии.

### **Список литературы**

1. BGA микросхемы: [Электронный ресурс] URL: <https://libosmasters.ru/poleznoe/ chto-takoe-bga-chip-i-iz-chego-on-sostoit/>
2. Реболлинг BGA: [Электронный ресурс] URL: <https://studfile.net/preview/2983654/>

## **КОЛИЧЕСТВЕННАЯ ОЦЕНКА РИСКОВ КАК ОСНОВА СИСТЕМЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНЫХ УСЛОВИЙ ТРУДА**

М.А. Кудрявцев

Тульский государственный университет,  
г. Тула

***Аннотация.** Работа посвящена роли количественной оценки рисков в формировании комплексной системы обеспечения безопасных условий труда. Рассматриваются основные подходы к анализу вероятности возникновения опасных событий, методы расчёта уровня риска и их практическое значение для выбора эффективных мер защиты. Показано, что применение количественных моделей является фундаментом современного управления охраной труда и обеспечивает обоснованность решений по снижению воздействия вредных факторов. Подчёркнута значимость интеграции количественной оценки риска в систему мониторинга и управления безопасностью.*

Количественная оценка рисков выступает центральным инструментом современной системы обеспечения безопасных условий труда, поскольку позволяет переходить от качественных предположений к точным, измеряемым и управляемым параметрам. Актуальность данного направления связана с необходимостью повышения уровня промышленной безопасности, предупреждения аварийных ситуаций и минимизации воздействия вредных факторов на здоровье работников [1, 2]. В условиях интенсификации производства, роста сложности технологических процессов и использования новых видов материалов и оборудования именно количественный анализ обеспечивает основу для принятия обоснованных решений.

Базой количественного анализа является классификация опасных и вредных факторов, влияющих на состояние здоровья человека. Согласно ГОСТ 12.0.003-2015 и санитарным нормам, к ним относятся химические вещества, биологические агенты, параметры микроклимата, шум, вибрация, тепловые нагрузки, а также психофизиологические факторы, связанные с напряжённостью труда [3, 4]. Для каждого фактора существуют нормативно заданные предельно допустимые уровни, что позволяет сравнивать фактические значения с

установленными нормами и определять степень потенциального риска. Корректная идентификация опасных факторов – обязательное условие для последующего количественного анализа.

Количественные методы оценки риска включают вероятностные модели, математико-статистический анализ, расчёт интегральных показателей и комбинированные подходы. Вероятностные модели основываются на использовании статистики прошлых аварий и событий, что позволяет определить частоту возникновения опасной ситуации. Интегральная модель риска учитывает одновременно три ключевых компонента: вероятность события, уровень экспозиции и тяжесть последствий. Такие методы позволяют получить числовую величину риска, что значительно повышает точность ранжирования опасностей и приоритизации мероприятий безопасности.

Одним из наиболее применяемых методов является метод Fine-Kinney, основанный на экспертной оценке вероятности, частоты и тяжести последствий. Его использование обеспечивает быстрый и в то же время аргументированный расчёт уровня риска, что особенно ценно при анализе производственных участков с большим количеством одновременных воздействий [5]. Данный метод широко применяется для определения необходимости модернизации оборудования, улучшения вентиляционных систем, оптимизации планировки рабочих мест и внедрения средств коллективной защиты.

Немаловажную роль играет статистический подход, включающий анализ распределений вероятностей, построение графиков зависимости риска от времени, определение тенденций изменения опасных факторов. Методы математической статистики дают возможность выявлять скрытые закономерности и прогнозировать риски в будущем, что особенно важно для систем, подвергающихся регулярным нагрузкам или работающих в условиях повышенного износа оборудования. Параллельно применяются экспертные методы, позволяющие получать оценку риска при ограниченном объёме данных, что характерно для новых производств и инновационных технологий.

Международный стандарт ISO 45001:2018 рассматривает количественную оценку рисков как неотъемлемую часть системы управления безопасностью труда. Он ориентирует предприятия на создание интегрированной системы, включающей мониторинг, анализ, оценку эффективности мероприятий и постоянное улучшение [6]. Согласно стандарту, система управления безопасностью должна быть ориентирована не только на устранение последствий происшествий, но и на предупреждение рисков ещё до их возникновения. Количественная оценка служит фундаментом такого подхода.

Применение количественного анализа риска в практических условиях позволяет определять оптимальные меры безопасности. Например, оценка уровней шума и вибрации по ГОСТ 12.1.003-2014 даёт возможность обосновать необходимость установки шумопоглощающих экранов, виброразвязок, применения звуконепроницаемых кожухов или перевода персонала на облегчённые режимы труда [7]. Результаты расчётов используются при разработке программ обучения работников, что соответствует требованиям ГОСТ 12.0.004-2015 [8]. Обучение на основе количественных данных помогает

персоналу лучше понимать реальную величину риска и необходимость выполнения защитных мероприятий.

Количественная оценка риска выполняет также важную функцию в стратегическом планировании предприятия. Она помогает выявить участки с повышенной аварийностью, определить направления модернизации оборудования, рассчитать экономическую эффективность профилактических мероприятий и оптимизировать распределение ресурсов. Кроме того, количественный анализ служит доказательной базой при подготовке отчётов по охране труда, прохождении проверок, разработке программ по снижению травматизма и проведении специальных оценок условий труда.

Таким образом, количественная оценка рисков является фундаментальной основой системы обеспечения безопасных условий труда. Она объединяет нормативные требования, математические методы и современные стандарты управления безопасностью, создавая научно обоснованную платформу для принятия решений. Системный подход, включающий интеграцию мониторинга, анализа рисков и постоянного совершенствования, обеспечивает возможность значительного снижения влияния вредных факторов, увеличения устойчивости производственных процессов и повышения уровня защиты работников. Использование количественных моделей рисков позволяет формировать современную, эффективную и адаптивную систему охраны труда на любом предприятии независимо от его масштаба и отраслевой специфики.

### **Список литературы**

1. *Трудовой кодекс Российской Федерации: Федеральный закон от 30 декабря 2001 г. № 197-ФЗ.* – М.: Официальное издание, 2024.
2. *О специальной оценке условий труда: Федеральный закон от 28 декабря 2013 г. № 426-ФЗ.* – М.: Официальное издание, 2024.
3. *ГОСТ 12.0.003-2015. Система стандартов безопасности труда. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация.* – М.: Стандартинформ, 2017.
4. *СанПиН 1.2.3685-21. Гигиенические нормативы факторов среды обитания.* – М., 2021.
5. *Fine W.T. Mathematical Evaluation for Controlling Hazards / W.T. Fine, G.F. Kinney // Industrial Safety Journal.* – 1971.
6. *ISO 45001:2018. Occupational Health and Safety Management Systems – Requirements with Guidance for Use.* – Geneva: ISO, 2018.
7. *ГОСТ 12.1.003-2014. Шум. Общие требования безопасности.* – М.: Стандартинформ, 2015.
8. *ГОСТ 12.0.004-2015. Организация обучения безопасности труда. Общие положения.* – М.: Стандартинформ, 2016.

# КОМПЛЕКСНЫЙ ПРОГНОЗ АВАРИЙНЫХ РИСКОВ КАК ОСНОВА УПРАВЛЕНИЯ ПРОМЫШЛЕННОЙ БЕЗОПАСНОСТЬЮ

К.А. Поздняков, А.А. Маслова  
Тульский государственный университет,  
г. Тула

***Аннотация.** Работа посвящена методике комплексного прогноза риска аварии на опасных производственных объектах (ОПО). Рассматриваются нормативно-правовые основы управления промышленными рисками классификация опасностей, а также качественные, количественные и детерминированные методы анализа. Показана роль вероятностного анализа (PRA), моделирования последствий аварий и интегральной оценки индивидуального и социального риска. Подчёркнута значимость применения программных комплексов и интеграции оценки риска в систему управления промышленной безопасностью.*

Современное промышленное производство характеризуется высокой сложностью технологических процессов, применением опасных веществ и оборудования, работающего в условиях повышенных нагрузок. Это обуславливает наличие значительных техногенных рисков, связанных с возможностью возникновения аварийных ситуаций, способных привести к человеческим жертвам, экологическому ущербу и серьёзным экономическим потерям. В данных условиях обеспечение промышленной безопасности приобретает приоритетное значение и требует внедрения научно обоснованных методов анализа и прогнозирования аварийных рисков [1].

Комплексный прогноз аварийных рисков позволяет не только выявить потенциальные источники опасности, но и оценить вероятность реализации различных аварийных сценариев, а также возможные масштабы их последствий. Такой подход формирует основу для разработки эффективных профилактических мер и совершенствования системы управления промышленной безопасностью.

Правовое регулирование деятельности в области промышленной безопасности в Российской Федерации базируется на требованиях законодательства, устанавливающих обязательность оценки рисков при эксплуатации опасных производственных объектов. Нормативные документы регламентируют процедуры идентификации опасных объектов, анализа опасностей, декларирования безопасности и планирования мероприятий по локализации и ликвидации последствий аварий [2].

Нормативный подход к управлению рисками предполагает систематический контроль технического состояния оборудования, анализ условий эксплуатации и учёт человеческого фактора. Особое внимание уделяется необходимости прогнозирования аварийных ситуаций на ранних этапах, что позволяет снизить вероятность возникновения чрезвычайных ситуаций и минимизировать ущерб. Методические подходы к прогнозированию аварийных рисков

Методология прогнозирования аварийных рисков основывается на комплексном анализе технологических систем и включает совокупность

качественных, количественных и детерминированных методов оценки. Качественные методы используются для предварительной идентификации опасностей и определения наиболее уязвимых элементов производственного процесса. Они позволяют сформировать перечень потенциальных аварийных ситуаций и установить причинно-следственные связи между отказами оборудования и возможными последствиями.

Количественные методы направлены на расчёт вероятности реализации аварийных сценариев и оценку уровня риска. Они позволяют определить показатели индивидуального и социального риска, а также установить допустимость существующих уровней опасности. Детерминированные методы применяются для прогнозирования физических последствий аварий, таких как зоны поражения при взрывах, пожарах и выбросах опасных веществ [3].

Использование совокупности методов обеспечивает более полное и объективное представление о рисках, характерных для конкретного опасного производственного объекта.

Современные программные средства играют важную роль в повышении эффективности прогнозирования аварийных рисков. Программные комплексы позволяют автоматизировать расчёты, учитывать большое количество исходных параметров и моделировать различные сценарии развития аварийных ситуаций. Визуализация результатов расчётов способствует более наглядному представлению уровней риска и облегчает процесс принятия управленческих решений.

Информационные технологии обеспечивают интеграцию данных мониторинга, результатов анализа риска и планов реагирования, что повышает оперативность и обоснованность управленческих действий в сфере промышленной безопасности.

Включение результатов прогнозирования аварийных рисков в систему управления промышленной безопасностью позволяет перейти от реактивного подхода, основанного на устранении последствий аварий, к проактивному управлению, ориентированному на их предупреждение. Это способствует формированию культуры безопасности, повышению ответственности персонала и совершенствованию организационных процедур.

Результаты оценки и прогноза риска используются при разработке технических и организационных мероприятий, планировании капитальных вложений в модернизацию оборудования и обосновании необходимости внедрения дополнительных защитных систем. Таким образом, прогнозирование риска становится важным инструментом стратегического управления безопасностью опасных производственных объектов.

Комплексный прогноз аварийных рисков является неотъемлемой частью системы обеспечения промышленной безопасности. Его применение позволяет выявлять потенциальные угрозы, оценивать вероятность и последствия аварийных ситуаций, а также разрабатывать эффективные меры по снижению уровня риска. Системный подход к прогнозированию риска способствует повышению надёжности функционирования опасных производственных

объектов и снижению негативных социально-экономических последствий техногенных аварий.

### Список литературы

1. Вяткин В.Б. Анализ и управление риском. Теория и практика: учеб. пособие / В.Б. Вяткин. – М.: Наука, 2010. – 304 с. – URL: <https://search.rsl.ru/ru/record/01002048111> (дата обращения: 13.12.2025).

2. О промышленной безопасности опасных производственных объектов: федер. закон Рос. Федерации от 21.07.1997 № 116-ФЗ (ред. действующая). – Доступ из официального интернет-портала правовой информации. – URL: <https://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001201207260017> (дата обращения: 13.12.2025).

3. ГОСТ Р 51901.1-2002. Менеджмент риска. Анализ риска технологических систем. – Введ. 01.01.2003. – М.: Госстандарт России, 2002. – Доступ из справ.-правовой системы стандартов. – URL: <https://www.rsts.ru/catalog/gosts/gost-ry/51901/51901.1-2002/> (дата обращения: 13.12.2025).

## ОБЕСПЕЧЕНИЕ БЕЗОПАСНЫХ УСЛОВИЙ ТРУДА: ПОДХОДЫ, АНАЛИЗ РИСКОВ И ПРАКТИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ

А.А. Гусак

Тульский государственный университет,  
г. Тула

**Аннотация.** Работа посвящена анализу системы обеспечения безопасных условий труда на промышленном предприятии с учётом действующих нормативных требований и современных подходов к оценке рисков. Рассматриваются основные опасные и вредные факторы, а также методы их идентификации и количественной оценки, включая метод Fine-Kinney и положения стандарта ISO 45001:2018. Обоснована необходимость применения инженерно-технических и организационных мер, направленных на снижение профессиональных рисков и повышение уровня защиты работников. Сделан вывод о значимости формирования культуры безопасности для устойчивого функционирования предприятия.

Обеспечение безопасных условий труда – ключевой аспект устойчивого развития производства, напрямую влияющий на здоровье работников, стабильность процессов и экономическую эффективность предприятия. Современная система охраны труда базируется на нормативных требованиях Трудового кодекса РФ и Федерального закона № 426-ФЗ о специальной оценке условий труда, которые определяют обязанности работодателя по предотвращению воздействия опасных и вредных факторов, обучению персонала и внедрению эффективных мер защиты [1, 2].

Основой анализа условий труда является корректная классификация опасных и вредных факторов. Согласно ГОСТ 12.0.003-2015, к ним относятся физические, химические, биологические, психофизиологические и иные



воздействия, способные приводить к травмам или ухудшению состояния здоровья работников [3]. Санитарные нормы (СанПиН 1.2.3685-21) устанавливают допустимые уровни микроклимата, шума, вибрации, освещённости, содержания вредных веществ в воздухе рабочей зоны и биологических агентов [4]. Эти требования формируют основу диагностики условий труда и определения необходимости применения технических и организационных мер защиты.

В условиях развития цифровых технологий ключевое значение приобретает мониторинг техносферы. Современные предприятия активно внедряют автоматизированные системы контроля параметров среды, включая датчики температуры, влажности, концентрации вредных веществ, вибраций и шума. Такие системы позволяют своевременно обнаруживать отклонения и предотвращать опасные ситуации. Принципы мониторинга и корректирующих действий закреплены в международном стандарте ISO 45001:2018, который определяет требования к системе управления охраной труда и ориентирует предприятия на непрерывное улучшение процессов безопасности [6].

Методы оценки профессиональных рисков занимают центральное место в системе управления безопасностью труда. Одним из наиболее результативных количественных инструментов является метод Fine-Kinney, позволяющий определить интегральный показатель риска на основе вероятности, степени экспозиции и тяжести последствий опасного события [5]. Использование этого метода способствует объективному ранжированию рисков и выбору наиболее значимых направлений улучшения условий труда. В дополнение к нему применяются нормативные требования по контролю отдельных факторов, например оценка уровня шума по ГОСТ 12.1.003-2014 [7], а также обязательные процедуры обучения и проверки знаний по ГОСТ 12.0.004-2015 [8].

Практический анализ условий труда показывает, что работники промышленного предприятия подвергаются воздействию разнообразных факторов риска. В механическом цехе основными угрозами являются повышенный уровень шума, вибрации, наличие движущихся частей станков и риски поражения электрическим током. На участке сборки электрооборудования отмечена высокая нагрузка на органы зрения, воздействие токсичных паров флюсов и припоя, статическое электричество. В испытательном центре повышенные риски связаны с работой под высоким напряжением и термическими воздействиями. На складских участках сохраняется вероятность падения грузов и недостаточной освещённости отдельных зон, что также повышает вероятность травматизма [3, 4, 7].

Результаты условной СОУТ показывают, что 30-35 % рабочих мест имеют вредные условия труда класса 3.1, преимущественно из-за шума, вибрации и воздействия химических веществ. Хотя тяжёлых несчастных случаев не зарегистрировано, наличие микротравм указывает на недостатки в дисциплине, организации рабочих мест и контроле за применением СИЗ. Это подтверждает необходимость усиления профилактических мероприятий, обучения работников и корректировки производственных процессов [8].

Комплекс мероприятий по обеспечению безопасности включает инженерно-технические, организационные и образовательные меры. Технические решения предполагают модернизацию оборудования, установку ограждений, блокировок, устройств защитного отключения, локальных вентиляционных систем, шумозащитных конструкций. Они направлены на устранение опасности на этапе её источника, что соответствует принципам приоритетности коллективной защиты [3, 7].

Организационные меры включают разработку и актуализацию инструкций, совершенствование системы регистрации микротравм, усиление контроля за использованием СИЗ, проведение ежедневных кратких инструктажей по безопасности, планирование режимов труда и отдыха. Важную роль играет обучение – согласно ГОСТ 12.0.004-2015, организация обязана регулярно проводить инструктажи, обучение, стажировку и проверку знаний требований охраны труда [8].

Культура безопасности является центральным элементом современной системы охраны труда. Она формируется через вовлечённость руководителей и работников, развитие мотивационных программ, проведение тематических мероприятий, повышение осведомлённости коллектива о рисках и ответственности за соблюдение нормативов. Согласно подходам ISO 45001:2018, участие работников на всех уровнях является ключевым фактором успешного функционирования СУОТ [6].

Экономическая эффективность мероприятий проявляется в снижении затрат на компенсации, уменьшении простоев, снижении травматизма, улучшении стабильности производственных процессов и повышении производительности труда. Инвестиции в охрану труда окупаются в короткие сроки за счёт сокращения непредвиденных потерь и повышения эффективности производственных операций.

Таким образом, обеспечение безопасных условий труда представляет собой многокомпонентную систему, включающую нормативные требования, мониторинг, оценку рисков, технические решения и организационные мероприятия. Внедрение международных стандартов, применение количественных методов анализа, развитие культуры безопасности и системное обучение персонала позволяют формировать устойчивую и эффективную систему охраны труда, обеспечивающую снижение профессиональных рисков, защиту здоровья работников и повышение производственной результативности.

### **Список литературы**

1. *Трудовой кодекс Российской Федерации: Федеральный закон от 30.12.2001 № 197-ФЗ. – М.: Официальное издание, 2024.*
2. *О специальной оценке условий труда: Федеральный закон от 28.12.2013 № 426-ФЗ. – М.: Официальное издание, 2024.*
3. *ГОСТ 12.0.003-2015. Система стандартов безопасности труда. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация. – М.: Стандартиформ, 2017.*

4. СанПиН 1.2.3685-21. Гигиенические нормативы факторов среды обитания. – М., 2021.
5. Fine W.T. Mathematical Evaluation for Controlling Hazards / W.T. Fine, G.F. Kinney. – *Industrial Safety Journal*, 1971.
6. ISO 45001:2018. Occupational Health and Safety Management Systems – Requirements with Guidance for Use. – Geneva: ISO, 2018.
7. ГОСТ 12.1.003-2014. Шум. Общие требования безопасности. – М.: Стандартинформ, 2015.
8. ГОСТ 12.0.004-2015. Организация обучения безопасности труда. Общие положения. – М.: Стандартинформ, 2016.

## Содержание

### ЭКОЛОГИЧЕСКИ ЧИСТЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Нуриев А.И., Гребёнкин А.А. Утилизация органического целлюлозосодержащего сорбента как элемент экологически чистых технологий .....	3
Спиридонова А.П., Гребёнкин А.Н. Разработка экологически чистого сорбента на основе кокосовой мякоти для ликвидации нефтяных разливов .....	5
Ступин А.С. Современные регуляторы роста для достижения максимального потенциала зерновых культур .....	8
Казарезов А.А., Ларичкин В.В., Ларичкина Н.И. Экспериментальное исследование и математическое моделирование кинетики сорбции нефтепродуктов пористым композиционным материалом (плоский сорбционный мат) .....	13
Браун В.А., Маслова А.А. Методология и модели прогнозирования уровня загрязнения водоемов на краткосрочные и долгосрочные периоды .....	18
Качалова А.А., Афанасьева Н.Н. Вторичные ресурсы как альтернатива природным ресурсам: ограничения и перспективы перехода к экономике замкнутого цикла .....	23
Кудрявцев М.А., Афанасьева Н.Н. Утилизация вторичных ресурсов в России: законодательство, практика и перспективы .....	26
Гусак А.А., Афанасьева Н.Н. Экологический контроль в России: роль федеральных агентств и регионов в системе охраны природы .....	29
Головачева Т.А. Экологичная реконструкция и реставрация .....	32
Костина Е.М. К вопросу о применении новых экологически безопасных видов энергии .....	34
Кузьмина К.А., Пушилина Ю.Н. Перспективы освоения подземного пространства .....	36
Пушилина Ю.Н., Воробьева В.А. Экологические аспекты совершенствования архитектурно-планировочной организации поселковых территорий (на примере Заокского района Тульской области) .....	38
Баранова А.А. Видеоэкология. Гомогенная видимая среда в городе .....	40
Гавриленко С.Д. Влияние высотной застройки на экологию и развитие современной городской среды .....	42
Игнатьева А.И. Обзор Загрязненных городов мира .....	45
Кукина Ю.Н., Пушилина Ю.Н. Зелёные технологии в современной архитектуре .....	46
Прусская В.М. Применение экологичных материалов на основе природного сырья .....	49
Зверева В.А. Экопоселения, симбиотические кварталы, экосити .....	51
Сухарева Д.А. Озеленение зданий и улиц города .....	53
Терин М.А. Проблемы современного трамвая и трамвайной сети в городах Российской Федерации как экологичного вида транспорта .....	55
Усик Д.А. Пространственное разнообразие и элементы ландшафта .....	58
Чигрина Е.В. Водная система современного города. малые реки как составляющая часть природно – экологического каркаса. Методы очистки водных объектов .....	61

### ЭКОЛОГИЯ И РАЦИОНАЛЬНОЕ ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЕ

Ирбулатов К.А., Ерёмчев И.А., Волков А.В. Основания применение методологии геохимических поисков для решения экологических задач .....	64
Ерёмчев И.А., Ирбулатов К.А., Волков А.В. Отражение вариаций показателя рН пойменных участков водотоков горнодобывающих регионов в механизмах реагирования растительной биоты .....	68
Пахомова Л.В., Речкалова В.А., Белякова А.Е. Разработка природоохранных мероприятий на предприятии, где применяются ричтраки .....	70
Бушуева О.С., Мельникова Д.А. Рациональное использование осадков сточных вод в качестве вторичного ресурса для рекультивации нарушенных земель .....	73

Коннов В.И., Вершинина Е.Е., Кирюхина В.А. Определение высоты насыпи на участке наледообразования графическим методом .....	77
Сайфуллина Э.Ф., Нургаллин Э.Г., Сабирзянов И.Г. Углерод депонирующие свойства основных лесообразующих древесных видов в лесном фонде в границах Белорецкого района республики Башкортостан .....	79
Овчаренко Н.Д., Кучина Е.А. Адаптация восточного благородного оленя ( <i>Cervus canadensis sibiricus</i> ) к факторам среды обитания .....	84
Голубова В.К., Богиева О.Р., Слюсарев В.Н., Онищенко Л.М. Действие микробиологических препаратов азотовит, фосфатовит на посевные качества семян сои .....	88
Удалова А.А., Непогодина Я.В. Оценка коэффициентов накопления радионуклидов в наземной растительности дерново-подзолистых почв в зоне влияния НИФХИ им. Л.Я. Карпова .....	92
Иванов Г.Н., Кривенко И.В., Смирнова М.А., Испирян С.Р. Исследование распространения тяжелых металлов в донных отложениях верхневолжской водной системы .....	96
Качалова А.А., Маслова А.А. Математическое моделирование и прогнозирование аварийного риска .....	98
Маслова А.А., Качалова А.А. Взаимосвязь процессов дегазации и миграции загрязняющих веществ в окружающую среду на поздних стадиях жизненного цикла полигонов твердых коммунальных отходов .....	100
Панарин В.М., Рылеева Е.М., Макерина У.А., Горелкина А.И. Структура и методы информационно-измерительных систем полей загрязнения поверхностных водных объектов промышленно развитых территорий .....	105
Панарин В.М., Рылеева Е.М., Макерина У.А., Горелкина А.И. Гидродинамическое моделирование как ядро прогнозных информационно-измерительных систем мониторинга загрязнения поверхностных вод промышленных территорий .....	111
Рылеева Е.М., Поздняков К.А., Гусак А.А. Системные ограничения функционирования промышленных лабораторий в условиях модернизации Российского машиностроительного комплекса ..	115
Рылеева Е.М., Сергеева Е.В. Ресурсосберегающая технология замкнутого цикла на основе автоматизированной очистки многокомпонентных гальванических стоков .....	120
Панарин В.М., Рылеева Е.М., Горелкина А.И., Макерина У.А. Моделирование полей загрязнения поверхностных водных объектов промышленно развитых территорий: методология, практика и перспективы интеграции в цифровые платформы .....	132
Панарин В.М., Рылеева Е.М., Горелкина А.И., Макерина У.А. Моделирование полей загрязнения поверхностных водных объектов (рек, озер, водохранилищ) на промышленно развитых территориях .....	137
Панарин В.М., Рылеева Е.М., Соловьева К.С., Савина Е.А. Механизмы трансформации и иммобилизации хрома в водной среде: от Cr(VI) к Cr(III) .....	141
Рылеева Е.М., Гусак А.А., Поздняков К.А. Моделирование миграции токсикантов на основе уравнения адвекции-дисперсии как основа для прогноза экотоксикологического риска .....	147

## МЕДИЦИНСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ

Вафина А.Р., Зенитова Л.А. Разработка биосовместимых кремнийорганических композитов для костной пластики: сравнительное исследование висмут- и оловоорганических катализаторов .....	151
--	-----

## ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Заживихина Е.И., Маркова С.А., Кузнецова Е.Е. Комплексные соединения и их практическое применение .....	154
---	-----

Бушуева О.С., Мельникова Д.А. Формирование профессиональной устойчивости у студентов нефтегазового профиля: перспективы виртуальной реальности в образовании .....	156
Петрук Н.Н., Гюльмагомедова М.В. Современные подходы к организации самостоятельной работы студентов медицинского института по курсу «Анатомия человека» .....	159

## **ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИЕ ТЕХНОЛОГИИ**

Басарыгина Е.М., Путилова Т.А. Энергосбережение: использование технических средств электротехнологии .....	161
Женжурист И.А. Микроволновое спекание – перспективная экологическая технология получения глинистой керамики .....	163
Воронов Е.В. Энергосберегающая СВЧ-технология переработки слизистых субпродуктов КРС .....	166
Васильченко А.С., Левина Н.Э. Информационные технологии как основа цифровой трансформации производственного комплекса АО «Бэлэнергомаш – БЗЭМ» .....	172
Левина Н.Э., Васильченко А.С. Котлы-утилизаторы как базовый элемент экологически чистых промышленных систем .....	174
Левина Н.Э., Васильченко А.С. Роботизация котельного производства как фактор внедрения экологически чистых технологий в энергетике .....	176
Васильченко А.С., Левина Н.Э. Энергосберегающие технологии как основа инновационного развития энергетического машиностроения на примере БЗЭМ .....	179
Иванова Е.С. Текущее состояние с ежегодной актуализацией схем теплоснабжения в населенных пунктах Российской Федерации .....	181
Гимадиев А.И., Шириев Р.Р. Системы автоматического позиционирования солнечных панелей по направлению на солнце .....	186
Мукатдаров А.А., Вафин Д.Б. Внедрение боковых горелок в туннельную печь обжига при производстве керамического кирпича .....	188
Панарин В.М., Маслова А.А., Карницкий В.Ю., Новикова Е.О., Абросимов С.В., Сало В.В. Методы интеллектуального сбора и обработки данных как основа предиктивного управления электросетевым хозяйством 6-110 кВ потребителей электрической энергии .....	192

## **ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ**

Ганичева А.В., Ганичев А.В. Векторная модель образовательного процесса .....	195
Жданович Г.Э. Опыт автоматизации диспансерного наблюдения на базе телемедицинской платформы .....	197
Власов П.А. Алгоритмы повышения надёжности передачи данных в SDN-сетях: сравнительный анализ CRC и кодов Хэмминга .....	203
Юдина Е.А., Куркина В.В. Интеллектуальные системы диагностики технологического процесса переработки фторопласта-4 .....	207
Панарин В.М., Маслова А.А., Карницкий В.Ю., Абросимов С.В., Сало В.В. Архитектура и практические результаты внедрения интеллектуальной информационно-измерительной и управляющей системы для объектов электросетевого хозяйства 6-110 кВ .....	210
Панарин В.М., Маслова А.А., Карницкий В.Ю., Новикова Е.О., Абросимов С.В., Сало В.В. Алгоритмы работы информационно-измерительной и управляющей системы, включая алгоритмы модулей телеуправления, телесигнализации, телеизмерения, телерегулирования для объектов электросетевого хозяйства 6-110 кВ отдельного потребителя электрической энергии .....	216

## ПРОИЗВОДСТВЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Губин Е.С., Ильин А.В., Бородин У.Н., Резанова П.В. Производственные процессы в эпоху индустрии 4.0: вызовы и возможности цифровой трансформации .....	222
Никулкин И.В., Петрова М.В. Адаптивная система автоматического управления электроприводами вспомогательного электрооборудования автомобилей: новые подходы к оптимизации энергопотребления .....	225
Курдюков К.С. Основные параметры микроклимата и условий труда в кабине электровоза .....	230
Слуцкий М.В., Пучка О.В. Интеллектуальная система автоматического контроля качества резинотехнических изделий на основе технологий машинного зрения .....	233
Хабибуллин Р.Р. АСУ процессом производства поликапроамида .....	237
Сиразетдинов Д.И. Технологии снижения потерь электропривода переменного тока с применением различных датчиков .....	239
Сюмайкина В.М., Телина И.С. Проблема оценки производственной системы производителя микроэлектроники .....	241
Лещенко Д.В., Мельников Е.В., Пивсаев В.Ю., Головачева Е.А. Перспективная технология изготовления и одновременной подземной укладки целиковой фотополимерной трубы для систем сбора нефти .....	244
Аборнев К.И. Реболлинг микросхем шариками различных диаметров .....	249
Кудрявцев М.А. Количественная оценка рисков как основа системы обеспечения безопасных условий труда .....	251
Поздняков К.А., Маслова А.А. Комплексный прогноз аварийных рисков как основа управления промышленной безопасностью .....	254
Гусак А.А. Обеспечение безопасных условий труда: подходы, анализ рисков и практические решения .....	256