

Библиографический список

1. Мазенкова А.А. Культурное наследие как самоорганизующаяся система: автореф. дис. канд. философ. наук: 24.00.01. Тюмень – 2009., С. 12.
2. Конвенция об охране всемирного культурного и природного наследия ЮНЕСКО. – 1972. – 14с.
3. Герцик, Ю. Г. Интеграция концепций устойчивого развития и менеджмента качества / Ю. Г. Герцик // Экономика, предпринимательство и право. – 2022. – Т. 12, № 1. – С. 33-46.
4. Культурное и природное наследие Беларуси как фактор развития туризма. [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.dzrcge.by/zdorovyyu-obraz-zhizni/news/kulturnoe-i-prirodnoe-nasledie-belarusi-kak-faktor-razvitiya-turizma.html> (дата обращения 22.03.2025).
5. Туристская энциклопедия Беларуси / редкол.: Г.П. Пашков [и др.]; под общ. ред. д.г.н. И.И. Пирожника. Минск.: Беларус. Энцыкл. імя П. Броўкі, 2007. – 647 с.

УДК 502.3

Ильин Дамир Николаевич

студент кафедры промышленной экологии,

УО «Белорусский государственный технологический университет»

e-mail: acutca@mail.ru

Лукашук Наталья Анатольевна,

к.э.н., доцент кафедры МТБиУР

УО «Белорусский государственный технологический университет»

e-mail: acutca@mail.ru

ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ В РАЗРАБОТКЕ ЭКОЛОГИЧЕСКИ ЧИСТЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД НА ОСНОВЕ СОРБЕНТОВ

***Аннотация.** В статье рассмотрено применение искусственного интеллекта в технологических процессах очистки воды. Рассмотрены виды сорбентов, механизм их работы. Приводится схема применения искусственного интеллекта для совершенствования очистки воды от ионов железа.*

***Ключевые слова:** искусственный интеллект, технология, очистка, вода, сорбент.*

ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN THE DEVELOPMENT OF ENVIRONMENTAL-FRIENDLY WASTEWATER TREATMENT TECHNOLOGIES BASED ON SORBENTS

***Annotation.** The article discusses the use of artificial intelligence in water purification processes. The types of sorbents and their operating mechanism are considered. A scheme of the artificial intelligence use to improve water purification from iron ions is given.*

***Keywords:** artificial intelligence, technology, purification, water, sorbent.*

Введение. На сегодняшний день в любом технологическом процессе важно придерживаться принципов применения эффективных современных технологий, которые являются экономически обоснованными, но, главное, опираются на возможности информационных, цифровых технологий, в том числе и искусственного интеллекта (ИИ).

Например, в Российской Федерации приняты указ Президента РФ № 490 «О развитии искусственного интеллекта в Российской Федерации» от 10 октября 2019 г., также «Национальная стратегия развития искусственного интеллекта на период до 2030 года», федеральный проект «Искусственный интеллект» национального проекта «Цифровая экономика». Так, Росводресурсы вышли на точность в 94 % используя ИИ в процессе бюджетного планирования, и внедрили Low code BPM платформу и тестовое использование ИИ для оценки заявок на финансирование [1].

В Республике Беларусь принят указ Президента РБ №156 от 7 мая 2020 г. «О приоритетных направлениях научной, научно-технической и инновационной деятельности на 2021–2025 годы», где важнейшим направлением развития современных технологических процессов является применение искусственного интеллекта и робототехники. Кроме того, реализуется программа «Цифровое развитие Беларуси» на 2021–2025 годы» (постановление Совета Министров РБ №66 (2 февраля 2021 г.), в частности решается задача цифрового развития отраслей экономики.

В нашем исследовании *объектом* стала система очистки промышленных стоков предприятий.

Целью работы является изучение процесса очистки сточных вод на основе сорбентов их отходов растительного происхождения с использованием искусственного интеллекта.

В области цифровизации в белорусской система водного хозяйства (предприятия ЖКХ и промышленные предприятия, потребляющие воду) на данный момент внедрена АИС «Расчет-ЖКУ» для автоматизации процесса учета объемов оказанных услуг потребителям в ЖКХ, а также активно внедряется АИС «ДомУчет» и «Карта энергоэффективности» в области повышения качества ЖКХ услуг между потребителями и организациями водоканалов [2]. Примеров использования искусственного интеллекта в очистке сточных вод промышленных предприятий Беларуси на практике не нашлось. И поэтому нами была *поставлена задача* изучить опыт использования ИИ в международной практике и определить основные модели его использования в процессе инновационной (экологически чистой) технологии очистки сточных вод на основе сорбентов.

Основная часть. В силу природных факторов в Республике Беларусь постоянно определяется превышение содержания железа в подземных [3, 4 стр. 146 2023 г.] и сточных водах. Согласно мониторингу подземных вод [4] показатели по железу (Fe, суммарно) во всех исследуемых скважинах выше ПДК 0,3 мг/дм³. Для борьбы с указанной проблемой применяются различные методы, выбор которых зависит от источника воды (подземные воды или сточные воды предприятия).

Одним из инновационных методов очистки является сорбционная.

Сорбционная очистка относится к глубокому методу очистки стоков от растворенных органических примесей на промышленных предприятиях, производящих целлюлозу, бумагу, текстиль, в нефтехимии и других производствах.

В качестве сорбентов применяют различные искусственные и природные пористые материалы: активированные угли, золу, коксовую мелочь, силикагели, алюмогели, активные глины

и земли. Последние составляют большой класс природных сорбентов, которые обладают значительной поглотительной способностью без всякой дополнительной обработки, что является их преимуществом перед искусственными сорбентами.

Активность сорбента характеризуется количеством поглощаемого вещества в кг на 1 м³ или 1 кг сорбента.

В традиционном производственном процессе сорбентами обычно выступают:

– активированный уголь: большая, пористая поверхность, поглощает органику, тяжелые металлы, красители и газы. Из-за пористой структуры применяется также для улавливания мелких примесей таких, как пестициды и остатки лекарств. Сейчас одним из широко применяемых материалов в обезжелезивании является активированный уголь, но у этого сорбента имеются ряд недостатков: сложность технологического процесса производства, длительность процесса, необходимость специальной утилизации. На данный момент лидером в производстве активированного угля является США;

– ионообменные смолы: применяются для устранения ионов металлов и других неорганических примесей, заменяя их безопасными ионами, входящими в состав смолы. Используются при удалении солей жесткости, аммония и тяжелых металлов;

– глины и цеолиты – природные поглотители для извлечения тяжелых металлов, нефтепродуктов и органики. Их традиционное использование в первичной очистке перед подачей воды в основную систему;

– силикагели и алюмосиликаты применяются для фильтрации от влаги и летучих органических соединений.

Наша идея заключается в том, чтобы из органических отходов производства получить сорбент, так как отходы – это дешевый источник сырья. Данный подход позволяет решить не только проблему очистки сточных вод, но и вторично использовать накапливающиеся побочные отходы на производствах. Важной особенностью является отсутствие сложной утилизации сорбентов после очистки, как, например, в случае с материалами, сорбирующими нефтесодержащие стоки, которые часто просто сжигаются.

Цифровизация процесса (обзор). Отметим, что без ультрасовременных подходов к процессу, возможно снижение экологической значимости. Поэтому важным является применение цифровых технологий или искусственного интеллекта.

Вот несколько ключевых направлений, где ИИ может быть полезен в водном хозяйстве:

– мониторинг и контроль процессов. Системы на основе ИИ могут отслеживать параметры процесса обезжелезивания в реальном времени, такие как pH, температура и концентрация железа. Это позволит автоматически регулировать условия процесса для достижения максимальной эффективности.

– анализ данных. ИИ может обрабатывать большие объемы данных, полученных из лабораторных исследований и полевых испытаний, чтобы выявить закономерности и оптимальные условия для работы сорбентов.

В нашем случае ИИ может помочь в расчете статистической обменной емкости (СОЕ), также он может составить материальные балансы.

– моделирование процессов. Использование ИИ для создания моделей поведения сорбентов в различных условиях поможет предсказывать их эффективность и срок службы, что важно для планирования технического обслуживания и замены.

– автоматизация процессов. Внедрение ИИ в системы управления процессами позволяет автоматизировать операции, связанные с добавлением сорбентов, их заменой и утилизацией, что снижает затраты и повышает безопасность.

– экологическая оценка. ИИ может помочь в оценке воздействия различных методов обезжелезивания на окружающую среду, что важно для устойчивого развития технологий очистки воды.

Примечательным является опыт научно-исследовательского Корейского Института Науки и Технологии (KIST), под руководством Хон Сок-вона, главы Центра исследования водных ресурсов и цикла, и старшего исследователя Сон Муна, которые разработали современную модель, основанную на искусственном интеллекте (AI) для борьбы с проблемами загрязнения воды, когда были объединены методы самоорганизующихся карт (SOM) для

кластеризации и случайных лесов (RFC) в машинном обучении для прогнозирования свойств и поведения микроэлементов в воде [6].

Известно, что уже научные сотрудники и специалисты Южного федерального университета (ЮФУ) в Ростове-на-Дону разработали новую технологию очистки промышленных сточных вод, загрязненных токсичными красителями, с помощью биосорбентов из биомассы пшеничной соломы с коэффициентом полезности 96% [7]. Суть в данном случае состоит в применении машинного обучения.

Специалисты соединили две компьютерные технологии: методологию поверхности отклика (Response Surface Methodology, RSM) и нейронную сеть. Нейросеть позволяет на основе введенных в систему данных: температуры воды, времени воздействия сорбента, концентрации и химического состава красителя получить оценку качества очистки. Она самостоятельно обрабатывает все варианты и условия, предсказывая свойства сорбента в широком масштабе, охватить который с помощью физических испытаний было бы сложно [6].

Статистическая методология поверхности отклика обрабатывает и структурирует полученную нейронной сетью информацию, выводя ее в виде уравнений или трехмерных моделей. Также она позволяет оптимизировать процесс изучения сгенерированных моделей и повышает их надежность. RSM отфильтровывает оптимальные варианты входящих и исходящих данных, чтобы найти случаи, в которых при минимальных затратах достигается максимальная отдача.

Мы предлагаем следующий принцип работы ИИ на станциях обезжелезивания.

Работа на станциях будет производиться с помощью технологии компьютерного зрения. В оборудование предлагается внедрить датчики, благодаря которым, можно узнать, на какой стадии технологический процесс и его параметры.

В поддержку предлагается создать чат-бот, в котором можно узнать всю интересующую информацию по стадиям процесса, который подключается к ПК и смартфонам работников.

Внедрение искусственного интеллекта поможет следить за процессом, узнать, когда потребуется замена или регенерация сорбентов, основываясь на текущих показателях. Данные от датчиков будут регулировать поток воды и параметры обработки. Также будет налажена обратная связь, оператор будет вводить нужные корректировки алгоритмов, опираясь на свой практический опыт.

Система сможет генерировать ежедневный и еженедельные отчеты о ее работе, включая показатели эффективности удаления железа, расход сорбентов и затраты на обслуживание. Такая отчетность поможет проанализировать результаты работы системы для дальнейшего ее улучшения.

Такая система на предприятиях может быть введена для повышения эффективности удаления железа с помощью сорбентов, для снижения затрат на материалы и улучшить качество воды. Это также позволит предприятию выйти на экологические стандарты и требования к качеству воды.

Таким образом, использование искусственного интеллекта в процессе обезжелезивания воды с помощью сорбентов растительного происхождения может значительно повысить эффективность и устойчивость систем водоочистки.

А дальнейшее применение искусственного интеллекта в области производства сорбентов для обезжелезивания воды открывает новые перспективы для повышения эффективности и оптимизации процессов очистки.

Заключение. Республика Беларусь является активным участником в области разработки экологически чистых технологий и идет по пути цифровизации основных процессов. Одним из важнейших условий благоприятной жизнедеятельности человека является качественная питьевая вода. Республика Беларусь не испытывает дефицита в таком полезном ископаемом, как подземные воды. Однако, на большей территории страны они не соответствуют требованиям, предъявляемым к воде питьевого качества по такому показателю, как концентрация железа. При допустимой норме содержания железа в питьевой воде 0,3 мг/л, его содержание в подземных водах может достигать 40 мг/л.

Сорбционная очистка природных вод от соединений железа является одной из наиболее эффективных. Учитывая то, что объемы забираемой воды очень большие, то для водоподготовки потребуется значительные количества сорбентов. Потребность республики в активированных углях составляет более 700 т/год. В тоже время, они не производятся в стране из-за высокой себестоимости. В связи с этим, актуальным является поиск альтернативных источников сырья для получения эффективных сорбентов. В проекте в качестве таких источников рассматриваются отходы растительного производства.

Как известно, большое скопление отходов наносит вред окружающей среде: загрязнение атмосферы, почвы, и поверхностных водоемов; изменение климата; сжигание отходов приводит к повышению углекислого газа в атмосфере; выделение токсичных газов.

Наша работа нацелена на то, чтобы найти новый способ получения сорбентов для очистки воды от ионов железа, найти применение для отходов, которые пагубно влияют на окружающую среду в этом процессе использовать искусственный интеллект, позволяющий обрабатывать огромные массивы информации и принимать быстрые и объективные корректирующие решения.

Библиографический список

1. Баженов В. И. Искусственный интеллект в сфере ВКХ. Интервью с нейросетью YandexGPT 2 // Наилучшие Доступные Технологии водоснабжения и водоотведения». 2024. №1 С. 2-8. URL: https://vodanews.info/wp-content/uploads/2024/02/NDT_1_spec.pdf (дата обращения: 17.03.2025)
2. О Государственной программе «Цифровое развитие Беларуси» на 2021–2025 годы // ПОСТАНОВЛЕНИЕ СОВЕТА МИНИСТРОВ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ 2 февраля 2021 г. № 66 URL: <https://pravo.by/document/?guid=3871&p0=C22100066> – Национальный правовой Интернет-портал Республики Беларусь (дата обращения: 20.03.2025)
3. Рабецкая С. В. Гигиеническая оценка содержания железа в подземных водах Республики Беларусь Актуальные проблемы современной медицины и фармации-2023 БГМУ, Минск (19.04 – 20.04) С.1087-1092
4. Национальная система мониторинга окружающей среды в Республике Беларусь: результаты наблюдений, 2023 год С. 142-181 URL: <https://www.nsmos.by/publikacii/2023> (дата обращения: 17.03.2025)
5. Лабоха К. В. Технологические решения по вовлечению в хозяйственный оборот отходов деревообработки и лесопиления / К. В. Лабоха, А. В. Лихачева, В. Н. Марцупь // Охрана окружающей среды - основа безопасности страны : сборник статей по материалам Международной научной экологической конференции, посвященной 100-летию КубГАУ, Краснодар, 29-31 марта 2022 г. Краснодар : Кубанский государственный аграрный университет имени И. Т. Трубилина, 2022. С. 91-93. Библиогр.: 7 назв.

6. ИИ и прогнозирование микроэлементов для борьбы с загрязнением воды URL: <https://habr.com/ru/companies/bothub/articles/791174/> (дата обращения: 17.03.2025)

7. Нейросеть помогла создать экономичный биосорбент для очистки воды URL: <https://echemistry.ru/novosti/novosti-ekologii/nejroset-pomogla-sozdat-ekonomichnyj-biosorbent-dlya-ochistki-vody.html> (дата обращения: 17.03.2025)

УДК 712.4(476-25)

Киеня Ангелина Андреевна
Белорусский Государственный Технологический Университет
e-mail: angelinakienia@gmail.com

ОЗЕЛЕНЁННОСТЬ ТЕРРИТОРИЙ МОСКОВСКОГО РАЙОНА Г. МИНСКА

***Аннотация.** В статье рассмотрена оценка обеспеченности населения Московского района г. Минска озеленёнными территориями общего пользования и экологических аспектов его развития. Особое внимание уделено реализации Года благоустройства 2025, а также были рассмотрены перспективы развития на основе Генерального плана Минска.*

***Ключевые слова:** озеленённые территории, благоустройство, экологическая политика, обеспеченность населения, Зеленстрой*

Kienya A.A.

GREENING OF THE TERRITORIES OF THE MOSCOW DISTRICT OF MINSK CITY

***Annotation.** The article examines the assessment of provision of the population of the Moskovsky district of Minsk with public green areas and environmental aspects of its development. Special attention is paid to the implementation of the Year of Improvement 2025, and the prospects of development on the basis of the General Plan of Minsk were considered.*

***Keywords:** green areas, landscaping, environmental policy, provision of population, Zelenstroy*

Охрана окружающей среды является одним из ключевых вопросов при постановке целей любого экологически направленного города. В этом контексте Московский район, как