

меры, направленной на индикаторную трубку, могут быть интерпретированы либо самим оператором (его помощником), либо также могут быть распознаны с помощью системы компьютерного зрения и внесены в автоматическом порядке в отдельный файл или протокол измерений.

В ходе разработки основных компонентов конструкции и их тестирования авторам стало очевидно, что для более глубокого анализа эксплуатационных характеристик необходима разработка дополнительной программы для симуляции процедуры инвентаризации в конкретных условиях. Была создана симуляционная модель, которая позволила объективно оценить работу системы в различных условиях и по различным сценариям. Следует отметить, что возможности разработанного симулятора позволяют использовать его не только для моделирования, но и в качестве образовательного продукта для подготовки экспертов по проведению инвентаризации объектов транспортной инфраструктуры с использованием представленной технологии.

Как следствие, специалист, проводящий инвентаризацию выбросов на объектах с использованием приборного комплекса на базе БПЛА, должен обладать следующими компетенциями:

- пройти дополнительное обучение в области отбора проб и контроля промышленных выбросов в атмосферу;
- иметь как минимум один год опыта практической работы в этой сфере;
- завершить обучение по внешнему пилотированию и эксплуатации беспилотных авиационных систем мультироторного типа с максимальной взлетной массой до 30 кг [3].

Вместе с этим специалист должен быть включён в Федеральный реестр экспертов, осуществляющих инвентаризацию промышленных выбросов с использованием БПЛА. В рамках пресечения несанкционированного доступа и обеспечения антитеррористической защиты объектов транспортной инфраструктуры, каковые в свете современных вызовов являются объектами стратегического значения, эксперты должны подвергаться проверке и состоять на учёте в Федеральной службе безопасности, а используемые коптеры – проверены и зарегистрированы в соответствии с установленными требованиями. Решение этих задач, безусловно, требует проведения ряда мероприятий правового и организационно-технологического характера. Тем не менее в условиях приоритета охраны окружающей среды и здоровья населения использование приборных комплексов на базе БПЛА для инвентаризации промышленных объектов является наиболее перспективным с точки зрения эффективности, безопасности и экономической целесообразности.

#### Список литературы

- 1 Левитанус, Б. А. Вызовы и угрозы экологической безопасности Российской Федерации: теоретико-правовой аспект / Б. А. Левитанус, А. Л. Ода // Ученые записки юридического факультета. – СПб. : Юрид. ф-т СПбГЭУ, 2021. – Вып. 1. – С. 50–54.
- 2 Карапузов, М. Ю. Возможности применения новейших технологий как способа преодоления экологического кризиса / М. Ю. Карапузов // Социально-гуманитарные знания. – 2020. – № 1. – С. 284–292.
- 3 Симанович, С. В. Некоторые аспекты реализации технологии дистанционного проведения замеров при инвентаризации источников выбросов объектов транспортной инфраструктуры / С. В. Симанович // Железнодорожный транспорт и технологии : сб. тр. междунар. науч.-практ. конф. – 2023. № 1 (249). – С. 267–269.

УДК 628.339.081

## ОСОБЕННОСТИ КЛАССИФИКАЦИИ НАНОСОРБЕНТОВ ДЛЯ ОЧИСТКИ ВОДНЫХ СРЕД И ПЕРСПЕКТИВЫ НОВЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

*О. Н. ГОРЕЛАЯ*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

Научное сообщество долгое время занимается поиском методов очистки воды от нефтепродуктов, включая сточные воды транспортных предприятий. Среди методов очистки выделяются традиционные, такие как отстаивание, фильтрация, флотация, использование реагентов, и сорбция, которая занимает особое место благодаря своей эффективности [1, 2]. Разнообразие сорбционных материалов на рынке постоянно растет и совершенствуется. Основным элементом процесса являет-

ся сорбент с развитой поверхностью, способный к поглощению загрязнений. Важнейшей характеристикой сорбента считается нефтеемкость (НЕ), однако выбор также зависит от ряда других факторов. В работе [2, 3] представлены основные классификационные характеристики: по виду основы (органические, неорганические, природные, синтетические), способу использования (поверхностные, фильтрующие, смешиваемые), форме (дисперсные и формованные), пористости, характеру смачивания, плавучести, водопоглощению, нефтеемкости, многократности использования, состоянию поверхности и способу модификации. Дополнительно учитываются сложности извлечения сорбента, регенерации и утилизации, а также экологичность утилизации отработанного сорбента. Также выделяются материалы с особыми свойствами: набухающие, с магнитными свойствами, содержащие ПАВ или бактериальные культуры для биоразложения. Однако классификация не охватывает использование сорбентов, созданных из отходов, что важно для сохранения природных ресурсов и вовлечения промышленных отходов в оборот.

Для анализа классификации сорбентов нефтепродуктов и предложений по ее совершенствованию необходимо рассмотреть существующие критерии и их недостатки. Текущая классификация по виду основы (органические, неорганические, природные и синтетические) хорошо описывает исходные материалы, но не всегда учитывает их поведение в агрессивных условиях, таких как высокие температуры или химически активные среды. Введение критерия устойчивости сорбентов к таким факторам могло бы повысить их практическую ценность. Классификация по способу использования (поверхностные, фильтрующие, смешиваемые) могла бы быть дополнена подкатегориями, отражающими многофункциональность сорбентов, например, их способность удалять одновременно несколько видов загрязнений, таких как нефтепродукты и тяжелые металлы. Также существует необходимость детализировать классификацию по форме (дисперсные, формованные) с учетом способов доставки сорбентов в загрязненную среду, что особенно важно для условий с труднодоступными участками, где полезны аэрозольные или гранулированные формы. Современные технологии пористых материалов позволяют предложить критерий адаптируемости пористости к условиям эксплуатации, что дало бы возможность разработать сорбенты с регулируемыми свойствами. В классификации по характеру смачивания стоит учитывать устойчивость сорбентов к воздействию растворителей и других агрессивных химикатов. Дополнение категории плавучести характеристиками устойчивости к механическим воздействиям, таким как турбулентные потоки воды, позволит точнее описывать поведение сорбентов в реальных условиях. Классификация по водопоглощению требует более точных градаций, основанных на удельной площади поверхности и объеме сорбции, что даст более полное представление о сорбционной способности материала. Для нефтеемкости и скорости поглощения можно добавить критерии долговечности и устойчивости при многократном использовании, что особенно важно для многоразовых сорбентов. Важно также расширить экологические аспекты, связанные с переработкой таких сорбентов, и учесть степень их разложения или регенерации без вреда для окружающей среды. Современные методы активации и модификации поверхности, такие как плазменная обработка или применение наноматериалов, требуют детализированной классификации по состоянию поверхности. Введение градаций по энергоэффективности методов регенерации станет важным для экономически эффективного использования сорбентов. Экологичность утилизации требует особого внимания и должна учитывать не только сорбент, но и загрязнители, которые он поглощает, что позволит комплексно оценивать воздействие на окружающую среду. Таким образом, расширение классификации с учетом новых технологий и требований устойчивого развития позволит повысить эффективность и экологическую безопасность использования сорбентов в реальных условиях.

Одним из инновационных подходов к очистке водных сред от нефтепродуктов стало использование наноструктурированных сорбентов, полученных из отходов станций водоподготовки, которые обладают магнитными свойствами [1, 4]. Для создания таких материалов перспективным является метод экзотермического горения в растворах [5–9], который отличается быстрыми процедурами, низкими энергозатратами и легкой масштабируемостью [10–13]. В классификацию сорбентов на основе нанотехнологий следует добавить важные характеристики, такие как химические и физические свойства, высокая площадь поверхности, которая обеспечивает высокую сорбционную способность, и широкие возможности применения в различных областях. Наносорбенты эффективны благодаря множеству сорбционных мест, короткому пути диффузии, регулируемому размеру пор, а также форме и морфологии, которые значительно влияют на их эффективность.

### Список литературы

- 1 Горелая, О. Н. Магнитные сорбенты для удаления нефтепродуктов из водных сред / О. Н. Горелая, В. И. Романовский, А. А. Хорт // Актуальные вопросы и перспективы развития транспортного и строительного комплексов : материалы IV Междунар. науч.-практ. конф., посвящ. 65-летию БИИЖТа – БелГУТа. – Гомель : БелГУТ, 2018. – С. 215–216.
- 2 Каменщиков, Ф. А. Нефтяные сорбенты / Ф. А. Каменщиков, Е. И. Богомольный. – М. – Ижевск : НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», 2005. – 268 с.
- 3 Малышкина, Е. С. Классификация сорбентов, используемых в технологиях очистки сточных вод от нефтепродуктов / Е. С. Малышкина // Градостроительство и архитектура. – 2020. – Т. 10, № 3. – С. 26–34.
- 4 Горелая, О. Н. Влияние дозы восстановителя на свойства магнитных сорбентов из осадков станций обезжелезивания / О. Н. Горелая, В. И. Романовский // Водоснабжение и санитарная техника. – 2022. – № 1. – С. 32–37.
- 5 Yushchenko, V. Influence of ammonium nitrogen on the treatment efficiency of underground water at iron removal stations / V. Yushchenko, E. Velyugo, V. Romanovski // Groundwater for Sustainable Development. – 2023. – No. 22. – P. 100943.
- 6 Yushchenko, V. Development of a new design of deironing granulated filter for joint removal of iron and ammonium nitrogen from underground water / V. Yushchenko, E. Velyugo, V. Romanovski // Environmental Technology. – 2023. – No. 14 (45). – P. 2735–2742.
- 7 Hurynovich, A. Artificial replenishment of the deep aquifers. In E3S Web of Conferences. EDP Sciences / A. Hurynovich, V. Ramanovski. – 2018. – Vol. 45. – P. 00025.
- 8 Романовский, В. И. Очистка промывных вод станций обезжелезивания с использованием отходов водоподготовки / В. И. Романовский, П. А. Клебеко, Е. В. Романовская // Вестник БрГТУ. Водохозяйственное строительство, теплоэнергетика и геоэкология. – 2018. – № 2 (104). – С. 90–92.
- 9 Клебеко, П. А. Очистка подземных вод от железа с использованием модифицированных антрацитов / П. А. Клебеко, В. И. Романовский // Молодежь в науке – 2016 : сб. материалов XIII Междунар. науч. конф. / Совет молодых ученых Национальной академии наук Беларуси, Минск, 2017. – С. 347.
- 10 Клебеко, П. А. Модифицированные антрациты – эффективные каталитические материалы для обезжелезивания подземных вод / П. А. Клебеко, В. И. Романовский // Водоснабжение и санитарная техника. – 2020. – № 7. – С. 24–29.
- 11 Клебеко, П. А. Влияние условий синтеза на фазовый состав модифицированного покрытия антрацитов для обезжелезивания подземных вод / П. А. Клебеко, В. И. Романовский // Вестник БрГТУ. Водохозяйственное строительство, теплоэнергетика и геоэкология. – 2020. – № 2. – С. 65–67.
- 12 Клебеко, П. А. Обезжелезивание подземных вод модифицированным огнеупорным шамотом / П. А. Клебеко, В. И. Романовский // Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление. – 2021. – № 4. – С. 103–111.
- 13 Романовский, В. И. Проблемы утилизации отходов водоподготовки и очистки сточных вод в Беларуси / В. И. Романовский, А. А. Федоренчик, А. Д. Гуринович // Вестник БрГТУ. Водохозяйственное строительство, теплоэнергетика и геоэкология. – 2011. – № 2 (68). – С. 66–69.

УДК 551.4 (476.13)

## ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ОЧИСТКЕ СТОЧНЫХ ВОД

*Я. А. ДУНИН*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

Интенсивное воздействие человека на окружающую среду привело к загрязнению водных ресурсов Земли, поэтому данная проблема стала глобальной и требующей безотлагательного решения. Значительным источником загрязнения окружающей среды являются сточные воды. Защита и рациональное использование водных ресурсов – это одна из первоочередных задач, требующая решения путём постоянного контроля состава сточных вод, а также внедрения современных технологий для очистки сточных вод и поддержания экологического баланса [1].

Новые технологии, такие как мембранные биореакторы (МБР) и усовершенствованные процессы окисления (AOPS) обеспечивают значительные улучшения эффективности очистки. МБР объединяют биологическую обработку с мембранной фильтрацией, достигая высоких показателей удаления загрязняющих веществ и создавая высококачественные сточные воды. МБР представляет собой аэротенк с погружным мембранным модулем. Процесс разделения сточных вод и иловой смеси осуществляется при помощи микро- и ультрафильтрационных мембран.

Технология МАБР (мембранно-аэрируемый биопленочный реактор) представляет собой биореактор с биопленкой, прикрепленной на загрузке. Загрузкой являются полые мембранные волокна, в которые подается воздух от воздуходувной установки, а затем через поры мембран воздух поступает в аэробную зону биореактора.

Опыт применения данной технологии показал высокую эффективность очистки сточных вод. За счет отказа от вторичных отстойников и сооружений доочистки данная технология позволяет значительно сократить площадь, занимаемую очистными сооружениями. Применение технологии МБР наиболее эффективно для очистных сооружений, которым необходимо увеличить производи-