Список литературы

1 Трубы из пластмасс для транспортирования жидкостей под давлением. Правило Майнера. Метод расчета накопленного повреждения : ГОСТ ISO 13760-2024. – Введ. 29.11.2024. – Минск : Евразийский совет по стандартизации, метрологии и сертификации, 2024. – 8 с. – URL: https://files.stroyinf.ru/Data/845/84540.pdf?ysclid=mflioz13fx109124102 (дата обращения: 10.02.2026).

2 Трубы напорные из термопластов и соединительные детали к ним для систем водоснабжения и отопления. Общие технические условия = Трубы напорныя з тэрмапластаў і злучальныя дэталі да іх для сістэм водазабеспячэння і ацяплення. Агульныя тэхнічныя ўмовы : ГОСТ 32415-2013. – Введ. РБ 01.03.16. – Минск : Госстандарт, 2016. – 73 с.

УДК: 628.3.036:662.6

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ПОТЕНЦИАЛА ОСАДКА СТОЧНЫХ ВОД

И. А. САЛЯНКО

Белоруский государственный университет транспорта, г. Гомель, ila80112@gmail.com

Актуальность. Проблемы утилизации осадков сточных вод (ОСВ) связаны с постоянным ростом количества сточных вод, причем в городских условиях величина этих отходов составляет от 30 до 45 % от общего количества отходов. Для их хранения и складирования необходимы свободные территории вблизи городов, ресурсы для строительства и эксплуатации очистных сооружений, в противном случае это приводит к экологическому ущербу для окружающей среды. С другой стороны, осадки сточных вод могут быть использованы в качестве альтернативных источников энергии. Размещение осадков сточных вод на иловых площадках требуют значительных площадей рядом с источниками загрязнения [1].

ОСВ более чем на 50 % состоит из органических веществ, что определяет возможности использования в качестве возобновляемого энергетического ресурса для выработки тепла и электроэнергии [2].

Цель работы. Оценка и сравнение эффективности различных методов использования энергетического потенциала осадка сточных вод, таких как пиролиз, сжигание и анаэробное сбраживание.

Основные результаты. Сжигание представляет процесс полного окисления органических веществ при высоких температурах (850–1100 °С).

Перед сжиганием необходимо максимально снизить содержание влаги в осадке путем механического обезвоживания. Обезвоженный осадок перед сжиганием подвергается термической обработке, включающей нагрев материала, испарение влаги и выделение летучих веществ. К оборудованию для

сжигания осадка сточных вод относятся печи: многокамерные, с псевдоожиженным слоем (обычно печи с песчаным слоем), вращающиеся, колосниковые и камерные.

Основным преимуществом печей с псевдоожиженным слоем является отсутствие прямого контакта высокотемпературных газов с движущимися механическими частями. Это обеспечивает тщательную дезодорацию продуктов сгорания, но также приводит и к значительным потерям тепла. Шлам подается в слой инертного материала (обычно песка), взвешенного восходящим потоком воздуха. Статическая глубина слоя инертного материала составляет 0,5–0,8 метра. Перемешивание инертного материала способствует измельчению шлама на мелкие частицы.

Сгорание большей части высушенных очень мелких частиц и беззольных веществ заканчивается в свободной зоне над псевдоожиженным слоем, где температура достигает 300 °С, т. е. на 100–200 °С выше, чем в слое.

Печи с кипящим слоем легко отключаются на ночь; при повторном запуске они потребляют очень мало топлива, благодаря небольшим размерам нагревательной камеры и качеству огнеупорной футеровки и песка, что позволяет всей камере сгорания поддерживать высокую температуру в течение длительного времени после отключения печи.

Сжигание осадка сточных вод позволяет достичь положительного энергетического баланса и эффективно использовать его теплотворную способность. Однако, поскольку процесс сжигания происходит на воздухе и включает активные меры по дегазации, в атмосферу выбрасывается большое количество продуктов сгорания, что создает дополнительную нагрузку на окружающую среду.

Использование в печи кипящего слоя из кварцевого песка позволяет значительно уменьшить вредные выбросы при одновременной генерации энергии для обогрева и производства электричества, однако такие системы отличаются повышенной сложностью, габаритами и требуют широкого комплекта вспомогательного оборудования.

Пиролиз – процесс высокотемпературной (800–1000 °С) обработки осадков сточных вод без доступа воздуха (иногда с регулируемой подачей кислорода), в результате которого из органического вещества осадка образуются твердый углеродный остаток – кокс и горючий газ – синтетический газ.

Особенностью пиролизной переработки является экологичность. Процесс протекает при отсутствии кислорода, что предотвращает выделение диоксинов, а тяжёлые металлы (ртуть, кадмий, свинец и др.) в твёрдом остатке остаются в стабильной, нерастворимой форме.

Пиролиз обладает рядом достоинств по отношению к альтернативным способам переработки. При этом процессе под действием высокой температуры осуществляется стерилизация материала, а также формируются побочные продукты – газообразные вещества, жидкие фракции и твердый уг-

леродистый остаток, пригодные для использования в качестве топлива либо в качестве исходного компонента для химической промышленности. Дополнительно пиролиз позволяет извлекать тяжёлые металлы, такие как ртуть и кадмий, вместе с углеродным осадком. На сегодняшний день эта технология получила широкое распространение и интенсивно развивается в передовых странах мира.

К недостаткам метода можно отнести: ограниченные объемы выработки электроэнергии по сравнению с биогазом, строгие нормы по влажности исходного материала, обязательную предварительную сушку до уровня влаги ниже 15 %, значительное энергопотребление всей установки.

Анаэробное сбраживание – это биологический процесс, при котором органические вещества в отсутствие кислорода разлагаются микроорганизмами с образованием биогаза, состоящего преимущественно из метана (CH_4) и диоксида углерода (CO_2).

Биогаз образуется в результате анаэробного разложения органических веществ в метантенках. Основу получаемого газа составляют 55–75 % метана и 25–45 % углекислого газа, что требует последующей очистки перед применением.

Удельная тепловая мощность сжигания 1 $м^3$ биогаза составляет 22 МДж (или 6,1 кВт·ч в пересчёте на топливо), что равно энергии от сжигания 0,6 л бензина, либо позволяет получить 2 кВт·ч электрической энергии.

Преимущества анаэробного сбраживания состоят в максимальной отдаче энергетического потенциала сточных вод, создании замкнутой по энергообмену экосистемы и получении высокотехнологичного и востребованного продукта – сжатого метана. В последнее время зафиксирован рост научного интереса к совершенствованию данной технологии, особенно в странах Азиатско-Тихоокеанского региона, что предполагает её широкое применение в ближайшем будущем.

Основной недостаток процесса аэробного сбраживания – протекает медленно, поэтому в основном применяется на небольших очистных сооружениях.

Выводы. Использование энергетического потенциала осадка сточных вод является ключевым направлением в развитии устойчивых систем водоотведения и энергетики. Методы пиролиза, сжигания и анаэробного сбраживания предлагают различные пути для преобразования отходов в ценные ресурсы. Понимание преимуществ и недостатков каждого метода, а также разработка интегрированных и инновационных подходов, позволит максимально эффективно использовать этот недооцененный ресурс, способствуя как экологичности, так и энергетической устойчивости. Дальнейшие исследования и внедрение передовых технологий будут играть решающую роль в реализации полного потенциала осадка сточных вод как источника возобновляемой энергии.

Список литературы

1 **Хутская, Н. Г.** Энергетическое использование осадков сточных вод / Н. Г. Хутская, Г. И. Пальчёнок // Информационные технологии в политических, социально-экономических и технических системах : сб. материалов науч.-практ. конф. профессорско-преподавательского состава, научных работников, докторантов и аспирантов, 20 апр. 2023 года / Белорус. нац. техн. ун-т ; редкол. : Г. М. Бровка (пред. редкол.) [и др.] ; сост. А. В. Садовская. – Минск, 2023. – С. 211–220.

2 Энергетический потенциал осадков сточных вод в регионах России / Т. И. Андреенко, С. К. Дегтярёв, С. В. Киселёва, Ю. Ю. Рафикова // Окружающая среда и энерговедение. – 2025. – № 1. – С. 4–28.

УДК 371-004

ИНФОРМАЦИОННО-КОММУНИКАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ИНЖЕНЕРНЫХ СИСТЕМАХ

С. С. ШАЙЫМОВ

Институт телекоммуникаций и информатики Туркменистана, г. Ашхабад, smyradow615@gmail.com

Долгое время инженерные системы зданий (отопление, вентиляция, водоснабжение) развивались как обособленные механические структуры. Однако в условиях глобальной урбанизации 2020-х годов возникла потребность в их глубокой интеграции. Информационно-коммуникационные технологии (ИКТ) стали тем связующим звеном, которое превратило «пассивные» конструкции в адаптивные экосистемы. Сегодня инженерная система – это не только трубы и кабели, но и огромные массивы данных, генерируемые ежесекундно.

1 Архитектурные уровни интеграции ИКТ.

Современная ИКТ-инфраструктура инженерных систем строится на принципе иерархичности. Это позволяет разделить зоны ответственности оборудования и упростить масштабирование.

Нижний (полевой) уровень: датчики, сенсоры и актуаторы. Здесь происходит сбор первичной информации (температура, давление, потребление тока) и исполнение команд.

Средний (уровень управления): программируемые логические контроллеры (ПЛК). Они обрабатывают данные локально и принимают оперативные решения без участия человека.

Верхний (диспетчерский) уровень: системы SCADA и BMS. Здесь осуществляется визуализация процессов, хранение истории и глобальная оптимизация работы всего объекта.

2 Технологические драйверы: IoT и протоколы связи.

Основной рывок в развитии инженерных систем обеспечил Промышленный интернет вещей (IIoT). Благодаря переходу на беспроводные стан-