Список литературы

1 **Храменков, С. В.** Реконструкция трубопроводных систем / С. В. Храменков, О. Г. Примин, В. А. Орлов. – М.: Изд. Ассоциации строительных вузов, 2008. – 216 с.

2 **Храменков, С. В.** Стратегия модернизации водопроводной сети / С. В. Храменков – М. : Стройиздат, 2005. – 398 с.

3 **Кудина, Е. Ф.** Защита газо-нефтепроводов от внешних повреждений. Ч 1. Полимерные материалы (обзор) / Е. Ф. Кудина // Нефтяник полесья. – 2013. – № 2 (24). – С. 88–93.

4 Review on Materials for Composite Repair Systems / V. P. Sergienko, S. N. Bukharov, E. Kudina [et al.] // Non-destructive Testing and Repair of pipelines / Edited by E. N. Barkanov, A. Dumitrescu, I. A. Parinov. – Springer International Publishing, 2018. – Pp. 169–189.

УДК 628.336:662.8

КОМПЛЕКСНАЯ УТИЛИЗАЦИЯ ОСАДКОВ СТОЧНЫХ ВОД С ПОЛУЧЕНИЕМ ТОПЛИВНЫХ БРИКЕТОВ: АНАЛИЗ СОВРЕМЕННЫХ ПОДХОДОВ И ПЕРСПЕКТИВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ

Д. И. ЛАГУН[1], Р. Н. ВОСТРОВА[1], А. Н. ПЕХОТА[2]

[1] Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

[2] Белорусский национальный технический университет, г. Минск,

pehota.an@bntu.by

Проблема обращения с осадками сточных вод (ОСВ) остаётся одной из наиболее острых в сфере экологии и городского хозяйства. Ежегодный прирост объёмов ОСВ, достигающий 2–10 % от количества поступающих на очистку вод, в сочетании с низким уровнем их полезного использования (не более 5 %) приводит к накоплению миллионов тонн отходов на иловых площадках и полигонах.

Это сопровождается эмиссией парниковых газов, загрязнением почв и подземных вод, а также отчуждением значительных территорий. В то же время осадки содержат до 80 % органических веществ и обладают теплотворной способностью, сопоставимой с традиционными видами твёрдого топлива – торфом и бурым углём [1–3]. Это позволяет рассматривать их как перспективный вторичный энергоресурс, вовлечение которого в хозяйственный оборот соответствует принципам циркулярной экономики и способствует снижению импортозависимости в энергетической сфере.

Установлено, что валовой состав ОСВ варьируется в широких пределах в зависимости от источника образования. Содержание углерода составляет 40–52 %, водорода – 2,3–5,7 %, кислорода – 12–34 %, азота – 1,5–2,5 %, серы – 0,5–1,2 %. Зольность колеблется от 21 до 35 %, исходная влажность достигает 70–80 % даже после механического обезвоживания [4]. Высокая

влажность и присутствие тяжёлых металлов (Zn, Cu, Ni, Cr) в концентрациях, превышающих нормативы многих стран, ограничивают прямое использование осадков в сельском хозяйстве и требуют разработки альтернативных методов утилизации [4].

Наиболее технологически проработанным направлением является производство многокомпонентных топливных брикетов. Исследованы составы с различным соотношением ОСВ, древесных опилок и нефтешламов. Показано, что оптимальная влажность брикетируемой смеси составляет 30–40 %, что позволяет отказаться от энергозатратной предварительной сушки [5]. Математическое моделирование процесса позволило получить регрессионные зависимости производительности и плотности брикетов от долевого состава компонентов; установлены интервалы, обеспечивающие наилучшие показатели: ОСВ – 32–48 %, древесные отходы – 48–53 %, нефтешламы – 3–8 % [5].

Тепловые свойства брикетов зависят от состава и от влажности. Если влажность 10–12 %, то тепловая энергия от сгорания составит 16–17 МДж/кг. Если влажность поднимется до 30 % (12–14 МДж/кг), как у торфа или бурого угля. Если добавить опилки, то золы и серы станет меньше (зола с 34 % упадёт до 21–23 %, а сера с 1,2 % до 0,5–0,6 %).

Вредные вещества в отходящих газах определены замерами: содержание NO_2 и SO_2 ниже, если опилок больше половины при высоте дымовых труб 35–40 метров. Анализ показал: топливо горит ровно и догорает почти полностью. По расчётам, тонна брикетов стоит 60–100 бел. руб., а оборудование для их изготовления окупится за 2–3 года.

Имея банк данных по качественным характеристикам ОСВ очистных сооружений Республики Беларусь, т. е. проводя паспортизацию, можно было бы изготавливать брикеты прямо на очистных сооружениях и использовать их в местных котельных, где котлы переведены на альтернативные, местные виды топлива.

Брикетирование можно совмещать с термической переработкой (пиролизом или газификацией). Тогда брикеты будут не только топливом, но и сырьём для пиролизных установок. Продукты пиролиза – газ, жидкость и углеродистый остаток (полукокс) – можно использовать в технологических процессах. Углеродистый остаток можно использовать для очистки сточных вод от органики и тяжёлых металлов. Так можно объединить сразу два способа утилизации – энергетический и сорбционный.

Зола, остающаяся после сжигания брикетов, может быть использована в строительстве автомобильных дорог и при производстве строительных материалов (керамзит, цемент, асфальтобетон).

Важно, чтобы водоочистные и осадкообрабатывающие процессы работали вместе. Очистные сооружения тратят много энергии на очистку воды. Если установить на них энергоблоки, где брикетированный осадок будет сжигаться в котельной, тепловую энергию от сжигания направить на нагрев

воды до парообразования и направить на лопасти турбины, то можно не только избавиться от отходов, но и получать энергию.

Развивать это направление нужно, переходя от небольших проектов к крупным опытно-конструкторским разработкам и формированию системных ресурсосберегающих технологий полного цикла – от концентрирования осадка до переработки его в товарные продукты заданных свойств. Это обеспечит не только экологическую безопасность, но и энергоресурсную независимость локальных потребителей – что вписывается в тренд устойчивой экономики.

Необходима единая нормативная база для всех субъектов внедрения технологий для определения стандартов качества сырья для производства топливных брикетов из ОСВ, порядка проведения проверок, а также требований к пожарной и технологической безопасности при хранении и сжигании. Развитие этого направления должно вести к полному технологическому циклу.

Разработка и внедрение этих технологий, возможно, помогут уменьшить ущерб для окружающей среды, а также сделать производство более независимым от повышения цен на энергоресурсы. Развитие таких технологий прямо соответствует созданию замкнутого цикла и принципам устойчивого развития.

Список литературы

1 **Коваленко, В. Н.** Экономический анализ применения осадка сточных вод как альтернативы классическим видам твёрдого топлива / В. Н. Коваленко, А. М. Денисенко, Е. А. Пехота // Водоснабжение, химия и прикладная экология : материалы Междунар. науч.-практ. конф., Гомель, 22 марта 2021 г. / Белорус. гос. ун-т транспорта. – Гомель, 2021. – С. 100–102.

2 **Вострова, Р. Н.** Определение теплотворной способности брикетов на основе осадков сточных вод / Р. Н. Вострова, А. Н. Пехота, В. А. Малофей // Водоснабжение, химия и прикладная экология : материалы Междунар. науч.-практ. конф., Гомель, 26 марта 2024 г. / Белорус. гос. ун-т транспорта. – Гомель, 2024. – С. 93–95.

3 **Вострова, Р. Н.** Производство топливных брикетов на основе осадков сточных вод городских очистных сооружений / Р. Н. Вострова, Д. В. Макаров // Вестник БрГТУ. Серия: Водохозяйственное строительство, теплоэнергетика и геоэкология. – 2012. – № 2. – С. 43–45.

4 **Вострова, Р. Н.** Изготовление брикетов на основе осадка сточных вод методом прессования / Р. Н. Вострова, А. Н. Пехота, Я. С. Васильев // Водоснабжение, химия и прикладная экология : материалы Междунар. науч.-практ. конф., Гомель, 26 марта 2024 г. / Белорус. гос. ун-т транспорта. – Гомель, 2024. – С. 84–88.

5 **Вострова, Р. Н.** Шнековое прессование осадков сточных вод (ОСВ) при изготовлении топливных брикетов / Р. Н. Вострова, А. Н. Пехота, П. А. Матвеева // Водоснабжение, химия и прикладная экология : материалы Междунар. науч.-практ. конф., Гомель, 26 марта 2024 г. / Белорус. гос. ун-т транспорта. – Гомель, 2024. – С. 89–92.