

осока и другие. При выборе растений учитывают местоположение участка, требования к освещенности.

Преимуществами песчано-гравийных фильтров является простое исполнение, отсутствие сложных систем управления, а также низкий уровень энергопотребления. Имеют место возможности широкого использования местных строительных материалов, таких как песок, гравий. Вместе с тем, следует учитывать потребности в площадях для размещения песчано-гравийных фильтров.

### Литература

1. Arbeitsblatt DWA–A 262 Grundsätze für Bemessung, Bau und Betrieb von Kläranlagen mit bepflanzten und unbepflanzten Filtern zur Reinigung häuslichen und kommunalen Abwassers. DWA, Hennef, 2017. – 70 s.

2. ТКП 45–1.01–289–2013\* (02250) Методические документы в строительстве. Рекомендации и пособия в области архитектуры и строительства. Правила разработки, утверждения и применения (Измененная редакция, Изм. № 2), Минск, 2020. – 22 с.

3. Рекомендации по проектированию, устройству и эксплуатации песчано-гравийных фильтров очистных сооружений сточных вод. Р 4.01.188-2022, Международное благотворительное общественное объединение «ЭкоСтроитель», Минск, 2022. – 79 с.

4. СН 4.01.02–2019 «Канализация. Наружные сети и сооружения» Строительные нормы Республики Беларусь, Минск, 2019. – 80 с.

УДК 628.3:662.6

### **Брикетирование осадков сточных вод – направление создания альтернативного топлива**

Вострова Р. Н.<sup>1</sup>, Пехота А. Н.<sup>2</sup>, Коваленко В. Н.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Белорусский государственный университет транспорта  
Гомель, Республика Беларусь,

<sup>2</sup>Белорусский национальный технический университет,  
Минск, Республика Беларусь

*Исследовательский и производственный опыт объективно доказывает актуальность изготовления топливных брикетов с использованием осадков сточных вод, что дает возможность получить энергетический и экономический эффект от совместного использования ОСВ и древесных отходов, улучшая при этом экологическую обстановку в местах складирования и производства местного твердого топлива с необходимыми энергетическими характеристиками и физико-химическими свойствами.*

Экологически безопасное размещение осадка сточных вод (далее ОСВ) является актуальной проблемой, требующей немедленного решения. Количество ОСВ, выделяющихся при очистке сточных вод, составляет до 10 % от расхода поступающих вод, в народном хозяйстве используется 4–5 % от всего объема. Складирование ОСВ на иловых картах очистных сооружений создает неблагоприятную экологическую обстановку вблизи городской черты.

Однако в составе ОСВ содержится значительное количество органических соединений, которые могут быть использованы в качестве компонента для создания брикетированного топлива [1]. Кроме того, для собственных нужд котельных самих очистных сооружений требуются местные виды топлива, в качестве которых используется древесина, что негативно сказывается на деградации лесов.

Использование древесины совместно с другими возобновляемыми видами топлива позволяет сократить последствия вырубки лесов. Переход на возобновляемые источники топлива не решает окончательно проблему изменения климата, но в совокупности с другими действиями может смягчить или предотвратить катастрофические изменения. В УО «БелГУТ» (кафедрой «Экология и энергоэффективность в техносфере») проводились научные исследования по разработке, изготовлению брикетированного топлива на основе ОСВ городских очистных сооружений КПУП «Гомельводоканал» и изучению их физических и теплотехнических свойств.

Возможность использования твердых видов топлива в определенных областях при сжигании в теплотехнических установках определяется химическим составом, энергетическими и технологическими свойствами.

Определение основных физических показателей состава топлива для установления оптимальных компонентных параметров, а также для разработки технических условий на производство многокомпонентного твердого топлива на основе ОСВ с добавлением древесных опилок, проводились с участием аккредитованной и независимой лаборатории топлив, масел и кормов Учреждения Белорусского государственного университета «Научно-исследовательский институт физико-химических проблем» (Аттестат № ВУ/112. 1.0463) с составлением актов отбора проб, актов приемки и протоколов испытаний.

Анализ зольности, влаги, теплоты сгорания, содержания серы в процессе проведения испытаний с целью определения и контроля статистически достоверных результатов проводился в топливной лаборатории Речицкой мини-ТЭЦ филиала «Речицкие электрические сети» РУП «Гомельэнерго» (Аттестат № ВУ/112. 2.4393). Межлабораторные исследования проб выполняли в соответствии с ГОСТ 27314, ГОСТ 11022, ГОСТ 8606, ГОСТ 147

Учитывая накопленный опыт создания многокомпонентных видов топлива с использованием лигнина и нефтесодержащих отходов и разработанных ранее ТУ ВУ 490319372.001–2005 «Топливо твердое многокомпонентное» при разработке компонентных составов топлива с использованием ОСВ были учтены основные требования стандартизации топливных энергоресурсов и предъявляемые требования к твердым минеральным топливам и торфу.

С целью определения оптимального компонентного состава, были разработаны составы четырех образцов брикетов, чтобы определить диапазоны и соотношения химических компонентов, соответствующие оптимальному качеству, пригодному для использования в хозяйственной деятельности КПУП «Гомельводоканал» с возможностью использования в промышленных котельных (табл. 1).

Таблица 1

Образцы брикетов

Наименование	Марка 1	Марка 2	Марка 3	Марка 4
Доля ОСВ, %	50	75	100	33
Доля опилок, %	50	25	–	67

Теплота сгорания ( $Q$ , МДж/кг), которая определяется количеством теплоты, выделяющейся при сгорании, является одним из важных эксплуатационных свойств топлива и обязательным параметром оценки его эффективности [2]. Количество теплоты зависит от элементного состава твердого топлива и от влажности. Полученные результаты сведены в табл. 2.

Таблица 2

Элементные составы горючей массы различных видов топлива

Вид топлива	Состав топлива, массовая доля, %							$Q$ , МДж/кг
	С	Н	Н	О	S	A	W	
	углерод	водород	азот	кислород	сера	зольность	влажность	
Марка 1	–52	–5,1	–2,5	–20		–22,7	–62,7	–16,3
Марка 2	–53	–5,1	–2,5	–12	–1,1	–29,9	–57,2	–16,8
Марка 3	46–49	2,3–5,1	1,5–2,5	10–12	0,46–1,2	32,7–34,6	10,4–62,7	–16,7
Марка 4	50–52	2,5–5,1	1,5–2,4	20–22	0,57–0,6	21–21,4	–57,2	–15,6
Торф	–60	–6,0	–3,0	–40	–	–50	–95	–21,0
Древесина	–52	–7	–0,6	–45	–	–	–95	

Оценка полученных значений характеристик брикетов показывает, что зольность топлива на основе ОСВ без добавления древесных опилок

(марка 3) не превышает 35 %, что является высоким показателем по сравнению с другими видами топлива, однако, теплота сгорания при условиях влажности, определенных в ГОСТе, значительно выше, чем у древесного топлива или торфа. Добавление в состав брикетов древесных отходов позволяет снизить показатель зольности и получить его в пределах действующих нормативов СТБ 2202–2011, СТБ 1919–2008, ТУ ВУ100145188.004-2009 [3].

Анализ полученных экспериментальных измерений позволяет сделать вывод, что многокомпонентное твердое топливо с использованием ОСВ при влажности 30 % имеет теплоту сгорания в пределах 2842–2986 Ккал/кг (11,9–12,5 МДж/кг), что согласно СТБ 1919–2008 практически соответствует теплоте сгорания торфа (марки БТ-2-БТ-6) и составляет 3000 Ккал/кг (12,6 МДж/кг) при влажности 20 %. Это позволяет, не досушивая брикеты, при сжигании получать теплоту сгорания, как у торфяного топлива.

Результаты исследования теплоты сгорания образцов показывают, что при влажности 10,4 % теплота сгорания, образца с составом ОСВ 100 % составляет – 3986 Ккал/кг, при том, что при смешивании ОСВ и древесных опилок в пропорции 50х50 теплота сгорания уменьшается на 2,4 % и составляет 3889 Ккал/кг.

Содержание серы в топливе марки 3 (ОСВ – 100 %) составило 1,18 % что в целом является несколько завышенным (около 20 %), однако добавление

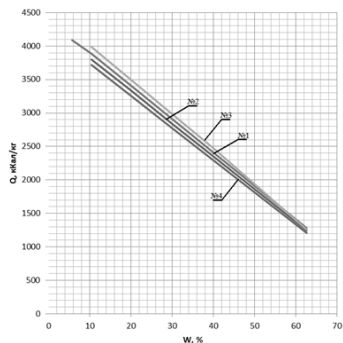


Рис. 1. Динамика изменения зависимости  $Q$  и  $W$  топлива с использованием ОСВ марок 1–4

более чистого по составу компонента в виде древесных опилок снижает содержание серы до показателей 0,58–0,6 %, при нормативе не выше 1 %. Таким образом, выявленная проблема может быть решена добавлением древесных опилок.

Зависимость нижней теплоты сгорания в зависимости от влажности по четырем образцам представлена на рис. 1.

В рамках исследований произведено математическое моделирование процесса распространения выбросов оксидов азота, диоксида серы, монооксида углерода и твердых частиц при сжигании разработанного топлива. Для расчета безразмерной максимальной приземной концентрации вредных веществ, образующихся при сгорании двухкомпонентного твердого топлива, использована формула [2; 3].

$$q(x_1) = \frac{0,1354AF_M n_e m_e \eta_e N}{H^2 \sqrt[3]{\alpha V_0 T_g N [Q_1 x_1 + Q_2 (1-x_1)^2 \eta_k^2 \Delta T]}} \times [(q_{11}(x_1) + q_{12}(x_1)) + q_2(x_1) + q_3(x_1) + q_4(x_1)].$$

Полученная аналитическая зависимость максимальной безразмерной приземной концентрации  $q$  вредных выбросов от доли опилок  $x$  в брикете позволяет найти значение  $x = x_m$ , при которой безразмерная концентрация  $q$  вредных выбросов при сжигании МТТ меньше 1.

Зависимость дает возможность определить и диапазон значений  $x$ , в котором выполняется условие  $q \leq 1$ . Пример, зависимости безразмерной приземной концентрации  $q$  от доли древесных отходов в брикете  $x_1$  для оксидов азота представлен на рис. 2 и для значений мощности  $N$  котельной показаны на рис. 3.

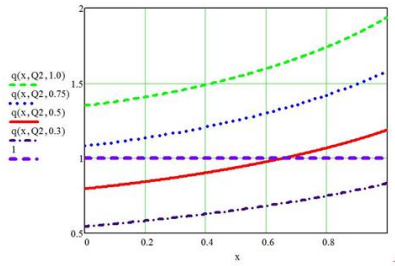


Рис. 2. Зависимость концентрации  $g$  от доли опилок  $x$  при различной мощности котельной  $N = 1,0; 0,75; 0,5$  и  $0,3$  МВт для высоты труб  $H = 10$  м

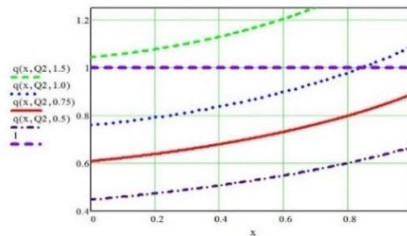


Рис. 3. Зависимость концентрации  $g$  от доли опилок  $x$  при различной мощности котельной  $N = 1,5; 1,00; 0,75$  и  $0,5$  МВт для высоты труб  $H = 20$  м

Сжигание разработанного многокомпонентного твердого топлива с долей опилок в брикете в диапазоне значений  $x$  от 0 до 0,855 удовлетворяет экологическим требованиям в силу того, что в этом диапазоне концентрация  $q \leq 1$ . При 1,0 МВт данное условие выполняется во всем диапазоне  $x$  от 0 до 1.

Таким образом, разработка технологии, обеспечивающей комплексное использование древесных отходов и осадков сточных вод в качестве топлива с приемлемым экологическим уровнем безопасности, позволит сэкономить первичные энергоресурсы, обеспечить топливом локальные системы теплоснабжения и удовлетворить внутренние потребности страны в местных видах топлива.

Кроме того – это позволяет создать рабочие места для обеспечения производства брикетов на очистных сооружениях, а также улучшить экологическую обстановку в местах размещения очистных сооружений [4].

### Литература

1. Вострова, Р. Н. Производство топливных брикетов на основе осадков сточных вод городских очистных сооружений / Р. Н. Вострова, Д. В. Макаров // Вестник Брестского государственного технического университета. Серия: Водохозяйственное строительство, теплоэнергетика и геоэкология. – 2012. – № 2. – С. 41–43.

2. Технология производства MSF-топлива – направление, обеспечивающее переход к циркулярной экономике / Б. М. Хрусталеv [и др.] // Наука и техника. – 2022. – Т. 21, № 4. – С. 340–348. <https://doi.org/10.21122/2227-1031-2022-21-4-340-348>.

3. Пехота, А. Н. Твердое топливо на основе смеси древесных и вязких нефтесодержащих отходов для локальных систем теплоснабжения: дис. на соискание ученой степени канд. тех. наук: 05.14.04 / А. Н. Пехота. – М., 2017. – 157 с.

4. Коваленко, В. Н. Оценка целесообразности изготовления топливных брикетов из осадков сточных вод / В. Н. Коваленко [и др.] // Водоснабжение, химия и прикладная экология: материалы Межд. науч.-практ. конф. – Гомель: БелГУТ; редкол.: Е. Ф. Кудина [и др.]. – Гомель: БелГУТ, 2021. – 162 с.