



УДК 628.38

Использование отходов ЖКХ для получения альтернативного топлива. Основные производства и технико-экономическая оценка

Пехота А. Н.¹, канд. техн. наук;

Хрусталева Б. М.¹, академик НАН Беларуси, доктор техн. наук, профессор;

Вострова Р. Н.², канд. техн. наук

*¹Белорусский национальный технический университет,
220013, Беларусь, г. Минск, пр-т Независимости, 65*

*²Учреждение образования «Белорусский государственный
университет транспорта»,
246653, Беларусь, г. Гомель, ул. Кирова, 34*

Аннотация. Представлены результаты исследований свойств альтернативного твердого топлива на основе осадков сточных вод. Описано применение комплексного решения эффективного использования образующихся осадков сточных вод городских очистных сооружений в качестве вторичных возобновляемых энергоресурсов.

Ключевые слова: альтернативное топливо, твердое топливо, многокомпонентные составы, осадок сточных вод, экология, горючие ВЭР, брикетирование.

The use of housing and communal services waste to obtain alternative fuel. Main production facilities and technical and economic assessment

Pekhota A. N.¹, Khrustalev B. M.¹, Vostrova R. N.²

¹Belarusian National Technical University

²Belarusian State University of Transport

Annotation. The results of studies of solid fuel properties based on sewage sludge are presented. The application of a comprehensive solution for the effective use of the generated sewage sludge from urban wastewater treatment plants as secondary renewable energy resources is described.

Keywords: alternative fuel, solid fuels, multicomponent compositions, sewage sludge, ecology, combustible VER, briquetting.

Введение. Проводимые в настоящее время за рубежом научные исследования направлены на разработку и совершенствование различных способов обработки и использования осадков сточных вод коммунальных очистных сооружений. В связи с этим решение вопроса экономически целесообразного и экологически безопасного размещения осадков сточных вод (ОСВ) в окружающей среде является актуальной задачей для предприятий водо-канализационного хозяйства (ВКХ) и мирового сообщества.

Применение технологии многокомпонентного брикетирования позволяет использовать осадок сточных вод в качестве компонента, обеспечивающего связующие свойства в смеси с древесно-растительными отходами [1; 2].



Основная часть. Коллективом белорусских ученых проведены научные и практические исследования, позволившие запустить производство многокомпонентного твердого топлива (англ. multicomponent solid fuel MSF). По результатам проведенных лабораторных исследований, выполненных в аккредитованных лабораториях, определены теплотехнические и физические свойства брикетов, а также выявлен интервал изменений химического состава в пределах варьирования соотношением ОСВ и древесных отходов [2].

По результатам проведенных экспериментов, математического моделирования с использованием информационных технологий и применения нейросетей определено оптимальное соотношение компонентов в MSF-топливе, которое обеспечивает наиболее полное сжигание используемых в нем горючих компонентов с выделением заданных теплотехнических характеристик и нормированного содержания вредных веществ в выбросах [4; 6; 7]

Результаты и обсуждения. Учитывая полученные научные результаты исследований, проведенный анализ и математическая обработка с определением зависимостей с учетом данных физико-химического состава различных видов твердого топлива и выбросов вредных веществ показал, что пределы варьирования зависят от содержания в составе топлива ОСВ. Причем для обеспечения эффективного сжигания MSF-топлива, их долевое соотношение должно составлять 32,8–48,6 %. При этом обеспечиваются нормированные параметры выбросов вредных веществ при сжигании MSF-топлива в основном за счет повышенного применения в составе «чистых» отходов, таких, как, отходы деревообработки, сельскохозяйственного производства, и отходов переработки ее продукции, не находящих технологического применения.

Реализуемая схема разработанного процесса брикетирования в упрощенном виде состоит из следующих операций, представленных на рис. 1.



Рис. 1. Технологическая схема подготовки и брикетирования MSF топлива

Полученные данные исследований с применением разработанной установки, обеспечивающей электрогидравлическую обработку отходов в соответствии с об-



щеизвестным «эффектом Юткина» [3], позволили в процессе подготовки многокомпонентных смесей достигать гомогенизации с выделением природных связующих компонентов без химического и термического воздействия. Так, при обработке отходов импульсным искровым разрядом можно снижать содержание нежелательных химических веществ в виде тяжелых металлов, что обеспечивает экологичность получаемого топлива на стадии сжигания и образования золы. Это достигается, за счет формирования определенной частоты и силы разряда, что вместе с тем дополнительно формирует во влажной смеси коллоидно-дисперсные связующие растворы, пригодные для влажного брикетирования [1; 5–7].

Вместе с тем к некоторым специалистам может возникнуть вопрос о рациональности применения влажного брикетирования отходов. Проведенный расчет теплоэнергетической системы сушки MSF-топлива позволяет выполнить сравнение удельных энергозатрат при традиционном сухом и многокомпонентном влажном способах брикетирования [2; 5–13]. Традиционная технологическая схема брикетирования, например, древесных отходов с применением технологии *Pini Kay* в условиях «горяче-сухого» брикетирования в шнековом экструдере, представлена на рис. 2.

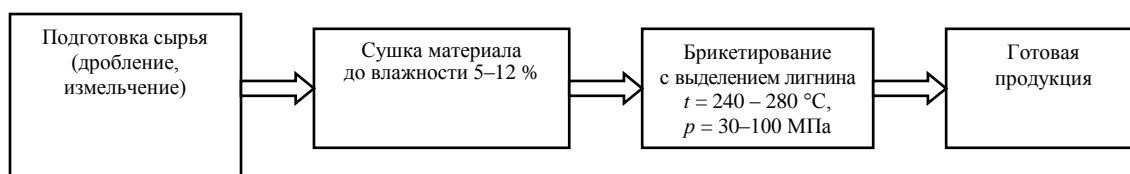


Рис. 2. Традиционная технологическая схема брикетирования (*Pini Kay*)

Исходя из представленной схемы технологического процесса, теории и практики «горячего» брикетирования, скорость формования ограничена скоростью процесса пластификации лигнина, а также требуемым временем нахождения топлива в процессе пластификации в обогреваемом канале под соответствующим давлением.

На рис. 3 представлена разработанная технологическая схема брикетирования МТТ. Одной из особенностей разработанной технологии «холодно-влажного» брикетирования многокомпонентных смесей является отсутствие затрат тепловой энергии в процессе брикетирования, так как связующим компонентом выступает не лигнин, содержащийся в структуре древесины и выделяемый при нагреве и повышенном давлении (t и P) на брикетируемый материал, а вязкие компоненты углеводородсодержащих отходов и мелкодисперсная органическая составляющая ОСВ [2; 11–13].

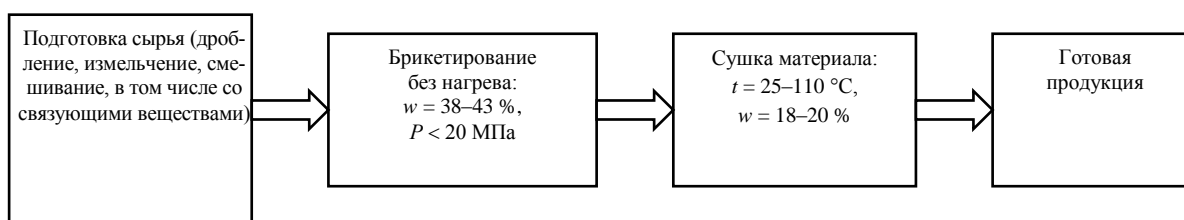


Рис. 3. Разработанная технологическая схема брикетирования МТТ



Принимая во внимание принципиальные особенности представленных технологических схем на рис. 2 и 3, выполнен сравнительный расчет удельных энергозатрат на получение брикетированного твердого топлива с учетом традиционной технологии брикетирования *Pini Kay* и технологии многокомпонентного брикетирования [1; 2]. Использование технологии «холодно-влажного» брикетирования позволяет осуществлять сушку брикета в теплое время года в естественных атмосферных условиях, под навесом, без дополнительных затрат энергии. В холодное время года – в конвективно-радиационной сушилке периодического действия.

Тепловой расчет сушки измельченного сырья древесных материалов выполнен с учетом применения прямоточной барабанной сушильной установки марки АВМ-0,65, которая часто используется в составе большинства технологических линий подготовки сырья к брикетированию и гранулированию твердого топлива. С учетом параметров влажности материала, поступающего в сушильную установку ($W_1 = 45\%$ и конечная $W_2 = 12\%$), определены требуемые удельные энергозатраты на сушку измельченного сырья хвойных пород древесины, которые составляют $q = 0,82$ МДж/кг.

С учетом параметров транспортной влажности сформованного многокомпонентного состава ($W_1 = 38\%$ и конечная $W_2 = 20\%$), определены удельные энергозатраты (нетто) на сушку, приведенные к 1 кг высушенного материала, которые составили $q = 0,71$ МДж/кг.

Сравнительный анализ показал, что использование технологии получения многокомпонентного брикетирования влажных смесей позволяет сократить теплоэнергетические затраты на 15 % по сравнению с применением технологии брикетирования *Pini Kay*.

Экономическая оценка себестоимости производства МТТ с учетом разработанных ТУ ВУ 490319372.002–2021 «Топлива твердые многокомпонентные котельно-печные», с использованием древесных отходов, осадка сточных вод и нефтесодержащих отходов, составляет 28,9 \$ США.

При отпускной цене на МТТ (ОДО «ТеплоБел»), определенной на 10 % ниже стоимости 1 т дров в поленнице (кругляк), окупаемость производственной установки брикетирования составляет 21 месяц (при 2-сменном режиме работы; установка монтируется в существующем здании) [2; 4–9]. Оценка теплотехнических параметров различных видов твердого топлива с учетом их стоимости в Республике Беларусь, по состоянию на IV квартал 2022 года, представлена в табл. 1.

Из табл. 1 видно, что твердое топливо МКУ 3-1с и торфобрикет находятся в диапазоне усредненно-равнозначной цены, что позволяет замещать торф, а его использовать в более выгодных с экономической точки зрения сегментах, например, извлечения из него полезных веществ для медицины, косметологии и биотехнологий, производства премиальных видов субстратов почво-грунта для цветов и декоративных растений, а также для выращивания грибов на покровных грунтах и другой востребованной органической продукции в сельскохозяйственном земледелии.



Таблица 1. Расчет удельной стоимости твердых видов топлива с учетом плотности и теплоты сгорания

Вид твердого топлива	Теплота сгорания топлива, ккал/кг	Цена твердого топлива, \$/т	Плотность твердого топлива, кг/м ³	Удельная теплота сгорания, ккал/м ³	Удельная стоимость топлива, \$/ккал (кг/м ³)
Твердое топливо МКУ 3-1с, $W = 15\%$	4330	54,2	0,82	3550	0,013/0,015
Дрова поленик (кругляк), $W = 15\%$	2900	59,6	0,38	1102	0,021/0,054
Дрова колотые, $W = 15\%$	2900	87,0	0,38	1102	0,030/0,079
Торфобрикет (навалом), $W < 16\%$	3600	51,7	1,1	3960	0,014/0,013
Топливный брикет <i>RUF</i> , $W = 12\%$	4100	152,2	1,0	4100	0,037/0,037
Топливный брикет <i>PiniKau</i> , $W = 9\%$	4490	147,8	1,2	5388	0,033/0,027
Топливные гранулы, $W = 7,7\%$	4570	165,2	1,2	5484	0,036/0,030
Уголь бурый марки Б-2	4177	113,0	1,2	5012	0,027/0,022
Уголь антрацит марки АМ	6200	261,9	1,5	9300	0,042/0,028

Цена образована по средней оптовой стоимости.

Заключение. Использование многокомпонентного брикетирования горючих отходов позволяет заместить традиционные виды топлива, что соответствует основным направлениям рационального использования природных ресурсов, а также расширению использования возобновляемых источников энергии в виде горючих производственных и коммунальных отходов, образующихся от хозяйственной деятельности человека.

Литература

1. Исследование многокомпонентного брикетированного топлива на основе осадков сточных вод городских очистных сооружений г. Гомеля и исследование теплотехнических свойств брикетов: отчет по НИР / Белорус. гос. ун-т трансп.; научный рук. А. Н. Пехота. – Гомель, 2020. – 99 с.
2. Пехота, А. Н. Многокомпонентное твердое топливо / А. Н. Пехота. – Гомель : БелГУТ, 2021. – 243 с.
3. Юткин, Л. А. Электрогидравлический эффект и его применение в промышленности / Л. А. Юткин. – Л. : Машиностроение, 1986. – 253 с.



4. Технология производства многокомпонентного твердого топлива с использованием отходов сточных вод / А. Н. Пехота [и др.] // Энергетика. – 2021. – Т. 64, № 6. – С. 525–537.

5. Пехота, А. Н. Определение эффективности параметров брикетирования и сушки многокомпонентных составов твердого топлива / А. Н. Пехота, Б. М. Хрусталеv // Энергетическая Стратегия. – 2022. – № 2. – С. 34–38.

6. Пехота, А. Н. Исследование термоаналитическими методами энергетических свойств брикетированного многокомпонентного топлива / А. Н. Пехота, С. А. Филатов // Энергетика. – 2022. – Т. 65, № 2. – С. 143–155.

7. Пехота, А. Н. Исследование энергетических характеристик многокомпонентного твердого топлива с использованием горючих малоиспользуемых коммунальных и производственных отходов / А. Н. Пехота // Наука и техника. – 2022. – № 2. – С. 164–174.

8. Пехота, А. Н. Эффективное использование твердых коммунальных отходов в энергетических целях: особенности MSF-технологии // Энергоэффективность. – 2022. – № 5. – С. 27–32.

9. Пехота, А. Н. Оценка эффективности технологии многокомпонентного брикетирования топлива с использованием осадков сточных вод / А. Н. Пехота, Б. М. Хрусталеv // Промышленная энергетика. – 2022. – № 6. – С. 40–50.

10. 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.

11. Пехота, А. Н. Использование углеводородсодержащих отходов в технологии многокомпонентного брикетирования твердого топлива / А. Н. Пехота, Б. М. Хрусталеv // Промышленная энергетика. – 2022. – № 9. – С. 53–61.

12. Термо-аналитический анализ брикетированного многокомпонентного топлива / Б. М. Хрусталеv, А. Н. Пехота, С. А. Филатов // Инновационные технологии в водном, коммунальном хозяйстве и водном транспорте : материалы II Республ. науч.-техн. конф., Минск, 28–29 апреля 2022 г. / М-во образования Респ. Беларусь [и др.]. – Минск : БНТУ, 2022. – С. 4–7.

13. Пехота, А. Н. Брикетирование осадка сточных вод на очистных сооружениях канализации / А. Н. Пехота, Р. Н. Вострова, Е. А. Пехота // ICER-2022 Актуальные научно-технические и экологические проблемы сохранения среды обитания : сб. тр. V Междунар. науч.-практ. конф. посвященной 50-летию кафедры природопользования, Брест, 26–28 окт. 2022 г. : в 2 ч. / М-во образования Респ. Беларусь, Брестский гос. техн. ун-т. – Брест : БрГТУ, 2022. – Ч. 2. – С. 173–178.