

традиционных схем брикетирования, что требует дополнительных мер определения приемлемого компонентного соотношения брикетируемого состава топлива, обеспечивающего стабилизацию (нормализации) процесса как брикетирования, так и сжигания получаемого топлива [3].

Список литературы

1 Merkblatt DWA-M 366. Maschinelle Schlammwässerung. Правила DWA Механическое обезвоживание осадка. – Немецкая ассоциация водного хозяйства, сточных вод и отходов, 2013. – 45 с.

2 **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. Водохозяйственное строительство, теплоэнергетика и геоэкология. – 2012. – № 2. – С. 43–45.

3 **Хрусталеv, Б. М.** Технология производства MSF-топлива – направление, обеспечивающее переход к циркулярной экономике. / Б. М. Хрусталеv, А. Н. Пехота, Р. Н. Вострова // Наука и техника. – 2022. – Т. 21, № 4.– С. 340–348.

RENEWABLE ENERGY SOURCES BASED ON BIOMASS FOR THE PRODUCTION OF BRIQUETTED FUEL

A. N. PECHOTA¹, R. N. VOSTROVA², V. YU. KORSHUNJVA²

¹Belarusian National Technical University, Minsk

²Belarusian State University of Transport, Gomel

УДК 662.818:628.38

ИЗГОТОВЛЕНИЕ БРИКЕТОВ НА ОСНОВЕ ОСАДКА СТОЧНЫХ ВОД МЕТОДОМ ПРЕССОВАНИЯ

A. N. PECHOTA¹, R. N. VOSTROVA², Я. С. ВАСИЛЬЕВ²

¹Белорусский национальный технический университет, г. Минск
delf_1@mail.ru

²Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель
vostrova@tut.by

Актуальность. Экологически безопасное размещение осадков сточных вод с учетом использования их в составе многокомпонентного топлива имеет неоспоримое значение при завершении процесса очистки сточных вод городских очистных сооружений.

Цель работы – проведение экспериментальных исследований по созданию брикетов на основе ОСВ.

Основные результаты. Для проведения экспериментальных исследований по производству многокомпонентного брикетированного топлива на основе

осадка сточных вод (ОСВ) с различными компонентными составами ОСВ была использована опытно-промышленная установка в составе с брикетировующим устройством марки «ПМТ-1». Измерялись и фиксировались следующие параметры:

- доли компонентного состава брикетируемой массы;
- влажность брикетируемой массы;
- производительность установки по изготовлению твердого топлива.

При этом для каждой комбинации компонентного состава измеряли следующие величины:

- влажность брикета на выходе из рабочего канала и в процессе его сушки (методом взвешивания образцов);
- продолжительность выхода брикета заданной длины из установки;
- температуру массы сырья и сформированного брикета;
- наружные размеры сформованного и высушенного брикетов.

Кроме того, документировали внешний вид, состояние поверхности, наличие трещин и т. п., а также возможность транспортировки брикета для сушки.

При проведении опытов принимались постоянными давление, создаваемое прессом, время перемешивания (подготовки) компонентов к брикетированию, температурный режим в помещении, температурный режим сушки, время сушки.

В процессе постановки эксперимента использовали одни и те же приборы, методики, средства измерения для определения показателей:

- электронные весы ВСП-4К, цена деления 0,5 г;
- электронные весы ВСП-60/10-5КС, цена деления 10 г;
- тарелку алюминиевую прямоугольную (длина 600 мм, высота 30 мм, ширина 160 мм, толщина стенок 0,5 мм);
- гигрометр ВИТ-2;
- влагомер delta 200QS;
- линейку длиной 1 м по ГОСТ 427–75;
- штангенциркуль ШП-1 по ГОСТ 166–73;
- термометр электронный ChecktempН198501;
- секундомер механический типа СОСпр-26-2-010;
- вспомогательные средства – перчатки, маркер, полиэтиленовую пленку.

Кроме того, при определении влажности брикетов-образцов твердого топлива применяли следующие приборы, инструменты и оборудование:

- сушильный шкаф с электрическим обогревом и терморегулятором с отверстиями для естественной вентиляции и поддержания постоянной температуры нагрева в камере на уровне 900 ± 15 °С;
- технический стеклянный ртутный термометр по ГОСТ 2888–68 с ценой деления шкалы 2 градуса для замера температуры в камере сушильного шкафа;
- термопреобразователь с пределом измерения температуры до 1000 °С, с измерительным устройством;

– вспомогательные средства: щипцы тигельные, эксикатор, мельница, набор сит и т. д.

За основные критерии качества принимались такие показатели, как вид, форма, вязкость сформированной массы брикета. Определили границы возможности получения твердого топлива, при которых брикетируемый состав продавливается через формирующую фильеру, не теряет форму, поддается транспортировке и перемещению.

Установлено, что при влажности w брикетируемой смеси от 0,12 до 0,30 сформованная масса рассыпается самопроизвольно, в том числе и от механического воздействия авторезки. При ступенчатом увеличении влажности смеси от 0,30 в условиях неизменной доли древесных отходов повышается производительность, и брикет соответствует принятым в эксперименте критериям его качества.

В связи с этим область определения факторов выбиралась с его уровнем значений влажности w_0 и доли x_0 , которые в предварительных исследованиях были признаны наилучшими с точки зрения оптимизации производительности P . Задавался интервал варьирования факторов Δw и Δx . Определялись верхние и нижние уровни факторов:

$$w_{\max} = w_0 + \Delta w; \quad w_{\min} = w_0 - \Delta w; \quad (1)$$

$$x_{\max} = x_0 + \Delta x; \quad x_{\min} = x_0 - \Delta x, \quad (2)$$

при условии, что $w_{\max} > w_{\min}$ и $x_{\max} > x_{\min}$.

Таким образом было установлено, что на производительность установки P наибольшее влияние оказывает влажность смеси w , увеличение которой более 0,6 приводит к невозможности получения сформованных брикетов, так как брикетируемый материал выходит в пастообразном, обводненном состоянии и не сохраняет заданную форму, а также не поддается транспортировке.

В соответствии с теорией планирования принятый диапазон изменения влажности w и доли древесных отходов x был уменьшен и выбраны значения факторов, указанные в таблице 1.

Таблица 1 – Выбор значений факторов

| Номер опыта | Параметр | |
|-------------|--|--|
| | доля влажности в брикетируемой смеси w | доля древесных опилок в прессуемой смеси x |
| 1 | $w_{\max} = 0,440$ | $x_{\max} = 0,240$ |
| 2 | $w_{\max} = 0,440$ | $x_{\min} = 0,160$ |
| 3 | $w_{\min} = 0,360$ | $x_{\max} = 0,240$ |
| 4 | $w_{\min} = 0,360$ | $x_{\min} = 0,160$ |
| 5 | $w_{\alpha 1} = 0,457$ | $x_{\alpha 1} = 0,200$ |
| 6 | $w_{\alpha 2} = 0,343$ | $x_{\alpha 2} = 0,200$ |
| 7 | $w_{\alpha 3} = 0,400$ | $x_{\alpha 3} = 0,257$ |

Окончание таблицы 1

| Номер опыта | Параметр | |
|-------------|--|--|
| | доля влажности в брикетируемой смеси w | доля древесных опилок в прессуемой смеси x |
| 8 | $w_{a4} = 0,400$ | $x_{a4} = 0,143$ |
| 9 | $w_0 = 0,400$ | $x_0 = 0,200$ |

Кроме того, проведено исследование зависимости формы прессуемого оптимального компонентного состава на производительность.

В ходе эксперимента изменяли формы матрицы-фильеры рабочего канала прессы с целью определения их влияния на производительность и качественные показатели, а также оптимальных условий упаковки, транспортировки получаемых брикетов.

Отобранные образцы прошли испытания с целью определения параметров плотности, прочности, теплоты сгорания полученного альтернативного топлива. В испытаниях использовались образцы различных компонентных составов, спрессованные под одним давлением, но при различной влажности.

Внешний вид исследуемых образцов брикетов представлен на рисунке 1. В эксперименте использовалась квадратная форма фильеры размером 93×93 мм.

В испытаниях по определению плотности высушенных образцов брикетированного твердого топлива использовали три случайно выбранных брикета-образца длиной 200 мм и размером 86×86 мм. Погрешность инструментальных измерений размеров образцов составляла ±0,1 мм.

Массу m_n отобранной пробы определяли путем взвешивания образцов с погрешностью не более 0,01 кг.



Рисунок 1 – Внешний вид образцов брикетов

При разработке многокомпонентного твердого топлива на основе ОСВ руководствовались существующими методами оценки качественных

параметров, которые будут позволять произвести оценку свойств с необходимой достоверностью и воспроизводимостью. Именно поэтому при разработке новых видов топлива при определении эксплуатационных свойств необходимо использовать специальные, воспроизводимые лабораторные методы контроля и оценки качества твердого топлива.

Важным эксплуатационным параметром является химический состав топлива, который классифицируется тремя группами, представленными в таблице 2.

Количество теплоты, выделяющейся при сгорании топлива, зависит от его элементарного состава. Любое топливо содержит органическую (горючую) часть и так называемый балласт. В состав органической части топлива могут входить следующие элементы: углерод (С), водород (H₂), сера (S), кислород (O₂), азот (N₂). Наиболее ценными элементами органической части, с точки зрения получения теплоты, являются углерод (С) и водород (H₂). Сера при ее сгорании образует кислотные окислы SO₂ и SO₃.

Таблица 2 – Классификация топлива по химическому составу [1]

| Класс | Химический состав | Вид топлива |
|-------|-----------------------------|---|
| I | Углерод | Все виды кокса и древесный уголь |
| II | Углерод и водород | Нефть, нефтепродукты, газообразные углероды и др. |
| III | Углерод, водород и кислород | Древесина, торф, ископаемый уголь, брикеты, гранулы, генераторный, смешанный и водяной газы |

Кислород и азот теплоты не выделяют, это внутренний балласт топлива. Внешним балластом, не входящим в состав соединений, образующих органическую часть топлива, являются минеральные примеси (при сгорании образуют золу) и вода [1].

Структура брикета образуется путем контактов частиц между собой или через прослойки связующих за счет создаваемых усилий брикетирования. Разнообразие технологических приемов и специфичность отдельных видов брикетирования материалов не позволяют создать единой теории брикетирования. Однако необходимо рассматривать и учитывать основные факторы и явления, на основе современных представлений макромолекулярной структуры влияющие на процесс брикетирования [2].

Состав грануломерата оценивается суммарной поверхностью контакта зерен, числом и размером пустот в структурном каркасе брикетов, наличием остроугольных зерен, рельефом твердой поверхности и присутствием пылевидных частиц. А принцип подбора смеси частиц различной крупности заключается в создании структурной композиции, отвечающей наиболее плотной упаковке.

Выводы. Использование опилок в составе топлива позволяет за счет формирования плотной структуры брикета увеличить его удельную

объемную теплотворную способность, снижает поглощение влаги и уменьшает концентрацию содержания серы и зольности брикетируемого топлива. Несмотря на то, что опилки в первоначальном виде занимают значительный объем, после брикетирования объем в 4–6 раз уменьшается, и низкая плотность сформированных брикетов позволяет транспортировать их и выполнять погрузо-разгрузочные работы с минимальными затратами.

Список литературы

1 **Ковхуто, А. М.** Минерально-сырьевые ресурсы Республики Беларусь и проблемы их комплексного освоения / А. М. Ковхуто, Л. А. Шакалов // *Новости науки и технологий.* – 2012. – № 4 (23). – С. 10–20.

2 **Сидняев, П. И.** Введение в теорию планирования эксперимента : учеб. пособие / П. И. Сидняев, Н. Т. Вилисова. – М. : Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2011. – 463 с.

3 **Хрусталеv, Б. М.** Технология производства MSF-топлива – направление, обеспечивающее переход к циркулярной экономике / Б. М. Хрусталеv, А. Н. Пехота, Р. Н. Вострова // *Наука и техника.* – 2022 – Т. 21, № 4 – С. 340–348.

PRODUCTION OF BRIQUETTES BASED ON SEWAGE SLUDGE BY PRESSING

A. N. PECHOTA¹, R. N. VOSTROVA², Ya. S. VASILIEV²

¹Belarusian National Technical University, Minsk

²Belarusian State University of Transport, Gomel

УДК 662.8.055:628.38

ШНЕКОВОЕ ПРЕССОВАНИЕ ОСАДКОВ СТОЧНЫХ ВОД (ОСВ) ПРИ ИЗГОТОВЛЕНИИ ТОПЛИВНЫХ БРИКЕТОВ

A. N. PECHOTA¹, R. N. VOSTROVA², P. A. MATVEEVA²

¹Белорусский национальный технический университет, г. Минск
delf_1@mail.ru

²Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель
vostrova@tut.by, polina70847188@gmail.com

Актуальность. Возврат вторичных энергетических ресурсов в народохозяйственный оборот – актуальная задача современности.

Цель работы – разработка способа брикетирования двухкомпонентного твердого топлива на основе ОСВ.

Основная часть. Наиболее производительным способом изготовления топливных брикетов с высокими показателями по качеству и сжиганию является метод брикетирования с использованием прессов [1]. Для брикетирования применяются в основном три типа прессов: конические шнековые, шнековые с нагревательной матрицей (без нагревательной матрицы) и двухшнековые.