

рализации обработанной воды, не требуются затраты тепловой энергии на нагрев воды.

2. Технология нанофильтрации для умягчения воды считается безреагентным способом, поскольку реагенты не используются в рабочем режиме. Вместе с тем, эксплуатация установок нанофильтрации требует периодических промывок и химических регенераций мембран. Таким образом, технология нанофильтрации может быть отнесена к безреагентной только условно.

3. Существенное ограничение при использовании нанофильтрации для умягчения производственных вод связано с проблемами отведением сбросных минерализованных вод (концентрата мембранных установок). При обработке значительных расходов производственных вод нанофильтрацией образуются большие объемы минерализованных сточных вод, которые требуют отдельной обработки.

Список цитированных источников

1. Technische Regel – Arbeitsblatt DVGW W 213-5 (A), Filtrationsverfahren zur Partikelentfernung; Teil 5: Membranfiltration. Bonn, April 2019, 32s.
2. Технический справочник по обработке воды: [в 2 т.: перевод с французского] / [Л. Андриамирадо и др.; науч. ред.: М. И. Алексеев и др.]. – 2-е изд. – Санкт-Петербург: Водоканал Санкт-Петербурга: «Новый журн.», 2007, 1775 с.
3. Первов А.Г. Новые тенденции в разработке современных нанофильтрационных систем для подготовки питьевой воды высокого качества: обзор / А.Г. Первов, А.П. Андрианов, Р.В. Ефремов, Ю.В. Козлова // Серия. Критические технологии. Мембраны, 2005, № 1 (25), с.18-34.
4. СН 4.01.01-2019 Строительные нормы Республики Беларусь. Водоснабжение. Наружные сети и сооружения. Минск, 2020, 78 с.

УДК 662.7, 628.4

АСПЕКТЫ СОЗДАНИЯ БРИКЕТИРОВАННОГО ТВЕРДОГО ТОПЛИВА С ВОЗМОЖНОСТЬЮ ЕГО ПРИМЕНЕНИЯ В ЭКСПЛУАТИРУЕМЫХ ТЕПЛОГЕНЕРИРУЮЩИХ УСТАНОВКАХ

А. Н. Пехота¹, Б. М. Хрусталеv², Р. Н. Вострова³, Г. И. Маматисаев⁴

¹ Зав. кафедрой «Теплогазоснабжение и вентиляция», Белорусский национальный технический университет, Минск, Республика Беларусь, pehota.an@bntu.by

² Профессор кафедры «Теплогазоснабжение и вентиляция», Белорусский национальный технический университет, Минск, Республика Беларусь, tg_v_fes@bntu.by

³ Доцент кафедры «Водоснабжение, химия и экология» УО «Белорусский государственный университет транспорта», Гомель, Республика Беларусь, vostrova@tut.dy

⁴ Зав. кафедрой «Строительство инженерных коммуникаций», Ферганский политехнический институт, Фергана, Республика Узбекистан

Аннотация

Рассмотрены технологические особенности получения брикетированного топлива на основе применения горючих отходов. Дана комплексная оценка проведенным исследованиям с использованием математических методов расчета и моделирования с оптимизацией составов топлива по физико-химическим и теплоэнергетическим характеристикам, позволяющей применять альтернативное топливо в эксплуатируемых установках.

Ключевые слова: твердое топливо, многокомпонентные составы, осадок сточных вод, отходы, дифференциально-термический анализ, выбросы, ПДК.

ASPECTS OF CREATION OF BRIQUETTED SOLID FUEL WITH THE POSSIBILITY OF ITS APPLICATION IN OPERATED HEAT GENERATING INSTALLATIONS

A. N. Pehota¹, B. M. Khrustalev², R. N. Vostrova³, G. I. Mamatisaev⁴

Abstract

The technological features of producing briquetted fuel based on the use of combustible waste are considered. A comprehensive assessment was given of the research carried out using mathematical methods of calculation and modeling with optimization of fuel compositions according to physical, chemical and thermal energy characteristics, which allows the use of alternative fuels in operating installations.

Keywords: solid fuel, multicomponent compositions, sewage sludge, waste, differential thermal analysis, emissions, maximum permissible concentrations.

Введение. Основными принципами и приоритетами государственной политики для многих стран, является рациональное использование природных ресурсов и энергосбережение. Эти направления позволяют формировать механизмы повышения ресурсной и энергетической безопасности, решать вопросы формирования экологически безопасной среды обитания для будущих поколений, а также способствуют развитию направлений реализующих использование в энергетических целях горючих отходов различных производств.

С начала двухтысячных годов, вводимые энергоустановки в рамках реализации программы увеличения уровня использования местных видов топлива, преимущественно были ориентированы на традиционные виды ископаемого топлива и твёрдые биотоплива. Их ассортимент формировался в основном за счет применения щепы, гранулированного и брикетированного твердого топлива. Так как финансовые затраты на возведение энергогенерирующих установок тратятся немалые, а запасы традиционно применяемых видов топлива на близлежащих от энергоустановок территориях со временем будут уменьшаться, появится необходимость их замещения резервными источниками топлива. Однако при решении вопросов перевода энергетических установок на местные и аль-

тернативные виды топлива возникает ряд проблем связанных с обеспечением приемлемых параметров обеспечивающих качественное сжигание.

В настоящее время одной из перспективных технологий получения топлива с целью обеспечения устойчивой эксплуатации энергоустановок, может стать внедрение технологий брикетирования, позволяющих получать твёрдое топливо на основе многокомпонентных составов из различных малоиспользуемых и некондиционных отходов, не нашедших применения.

Материалы и методы. Определение качественных параметров и соответствия требованиям произведенных многокомпонентных топливных брикетов выполнялись в соответствии с действующими стандартами на твердое топливо: СТБ 2055-2010, СТБ 1867-2009, с применением: атомно-абсорбционного спектрометра марки «МГА – 915М», дериватографа МОМ-1500, ИК-спектрометрии в лабораториях НАН Беларуси, БГУ и УО «БелГУТ».

Результаты и обсуждение. В исследовании использованы образующиеся и накопленные горючие отходы производственного сектора и коммунального хозяйства.

В составе брикетированного топлива в исследованиях использовался осадок сточных вод (ОСВ), образующихся в результате очистки хозяйственно-бытовых и производственных сточных вод. В свою очередь, как показали различные проведенные исследования, осадок является энергетически насыщенным горючим отходом, состоящим из органических (до 80%) и минеральных (около 20%) веществ[1].

Значительный энергетический эффект также можно получить от использования нефтесодержащих, древесных, сельскохозяйственных и иных вторичных горючих отходов, не нашедших технологического применения в других технологиях. Поэтому комплексная переработка таких отходов путём получения многокомпонентного твердого топлива является эффективным решением актуальных задач, имеющих научную новизну и важное практическое значение для увеличения доли местных топливно-энергетических ресурсов, создания дополнительных рабочих мест, стабильной сырьевой базы для энергетических установок [2-4].

В ходе исследований были разработаны четыре базовых состава брикетов, на основе которых производились математические расчеты, моделирование и определялись диапазоны и оптимальные соотношения химического состава, соответствующего критериям качества по энергетическим и экологическим показателям. Вместе с тем, рассматривался вопрос пригодности сжигания полученного топлива твердотопливных котлоагрегатах, мощностью 0,5 и 4,0 МВт. Разработанные составы были представлены на исследования в следующих соотношениях компонентного состава: «Марка-1» – ОСВ-50% и опилки древесные 50%; «Марка-2» – ОСВ-75% и опилки древесные 25%; «Марка-3» – ОСВ-100%; «Марка-4» – ОСВ-33% и опилки древесные 67% [2,3].

Разработанная технология производства многокомпонентного твердого топлива [4] позволяет получать твердое топливо с использованием образующихся и накопленных горючих отходов. Преобразованная схема брикетирования некондиционных отходов представлена на рисунке 1.

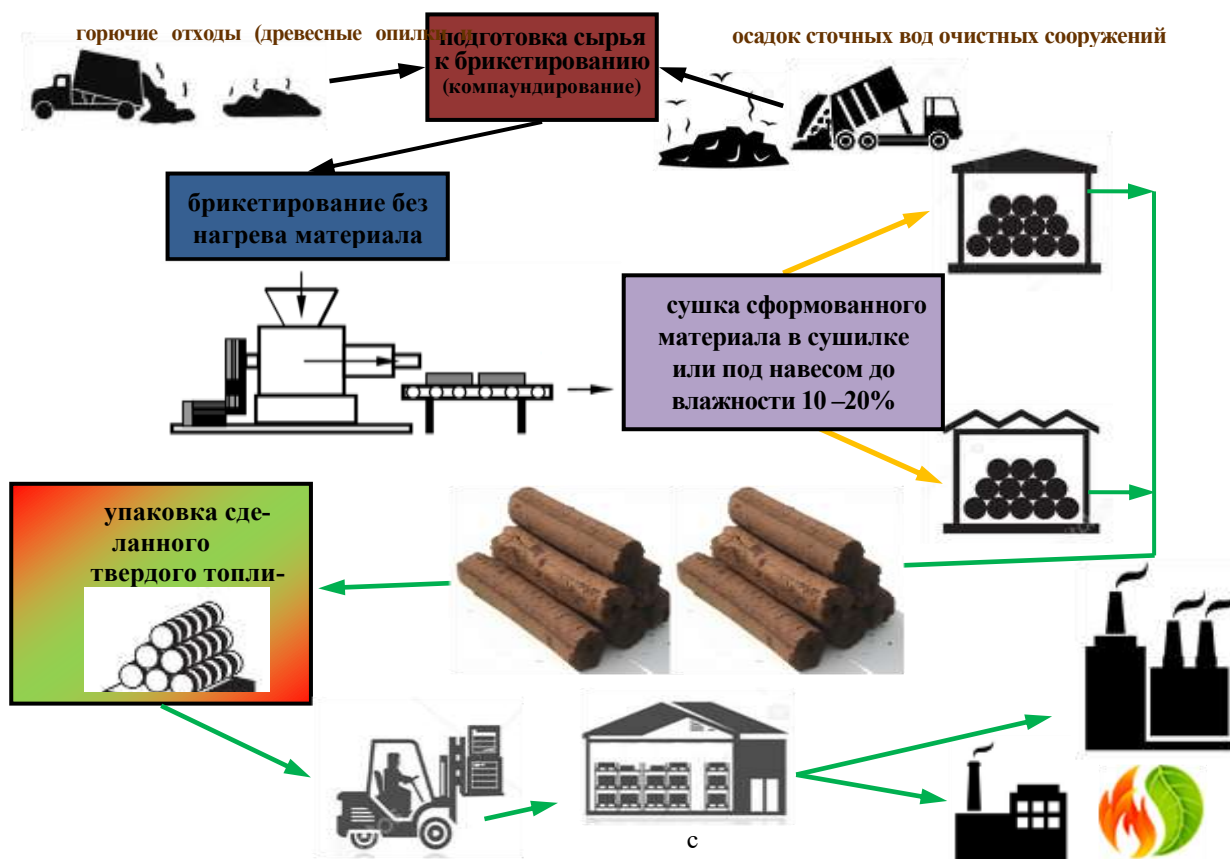


Рисунок 1 – Принципиальная схема разработанной опытно-промышленной установки брикетирования MSF топлива

Расчет и подбор оптимальных соотношений многокомпонентных составов производится с применением общепринятой теории построения эксперимента и с использованием современных математических инструментов, например, программы STATISTICA 7, которая позволяет, с помощью модуля расчета смесей, в разделе «промышленная статистика», получать и обрабатывать результаты и прогнозировать получаемые в ходе эксперимента факторные зависимости, с учетом их относительной ошибки.

В результате обработки экспериментальных данных определены дисперсия выходного параметра производительности P , среднеквадратичные ошибки, доверительные интервалы, значение критерия Фишера F_p . Из результата сравнения значения F_p и табличного значения критерия Фишера F_t при выбранном уровне значимости $\alpha = 0,05$ следует, что представленная модель адекватна изучаемому процессу.

Получено уравнение регрессии максимально эффективной производительности P брикетирования при следующем долевом соотношении горючих отходов в составе топлива:

$$P(A,B,C,D)=5,08253A+20,87668B+20,69155C+11,02850D+15,11772AC +19,50741AD, \text{ кг/мин} \dots\dots\dots(1)$$

где, А – влажности смеси, В – осадок сточных вод, С – измельчённые древесные отходы, D – нефтешламы.

Получено уравнение регрессии для определения плотности *U* брикетированного топлива в виде:

$$U(A,B,C,D) = 0,525977A+0,922431B+0,924242C+0,594141D, \text{ т/м}^3 \quad (2)$$

С использованием полученных уравнений регрессии были построены поверхности отклика, с применением метода Гиббса–Розебома. На рисунках 2-3 представлены зависимости производительности и плотности брикетов от долевого содержания компонентов.

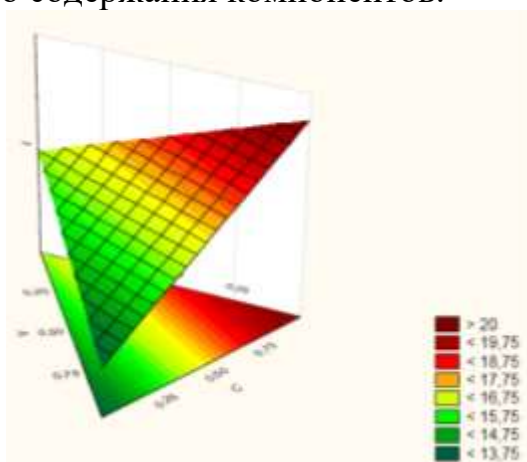


Рисунок 2 – Зависимость производительности установки брикетирования (кг/мин) от долевого содержания влажности смеси (А), древесных отходов (С) и нефтешламов (D)

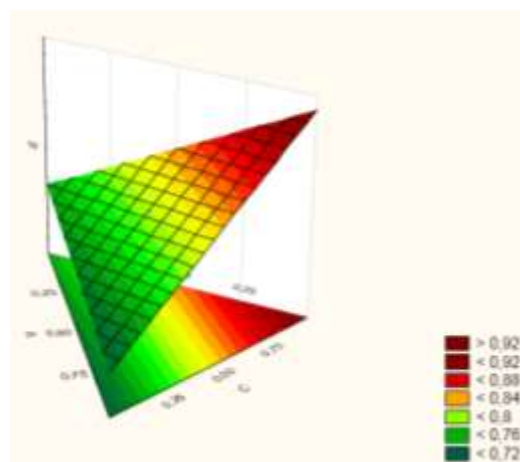


Рисунок 3 – Зависимость плотности брикетов (т/м³) от долевого содержания влажности смеси (А), древесных отходов (С) и нефтешламов (D)

Совместный анализ полученных факторных зависимостей, представленных на рисунках 2 и 3, позволяет наглядно определить, что при массовых долях в составе топлива с содержанием влажности (А) 24-38% в составе смеси с осадком сточных вод (В) в пределах 45-23% и древесных отходов (С) 48,6-53% обеспечивается функция желательности, которая удовлетворяет условиям: производительность брикетирования установки 17-18 кг/мин, а плотность получаемого брикета 0,84-0,86 т/м³ [5,6].

Также в ходе исследований отмечено, что смешивание ОСВ с горючими материалами (отходами) растительного происхождения позволяет в значительной степени снижать содержание зольности и серы (нормирование – содержание серы в топливе – не более 1%; зольность топлива – не более 23%).

Заключение. Проведенные научные исследования, математическое моделирование, факторный анализ и накопленный практический опыт подбора много-

компонентных составов, а также комбинированный подбор составов, позволяет определять оптимальное соотношение различных горючих компонентов в составе топлива, при которых теплотехнические характеристики и выбросы вредных веществ взаимно скоррелированы и соответствуют техническим характеристикам топливосжигающего оборудования со слоевыми топками, мощностью от 0,01 до 4МВт.

Список цитированных источников

1. Ануфриев В.Н. Технологии обработки осадков сточных вод / В.Н. Ануфриев // Экология на предприятии. - 2017. - № 5. - С. 84-95.
2. Пехота, А.Н. Исследование теплотехнических свойств брикетов на основе осадков сточных вод городских очистных сооружений/ А.Н. Пехота, Р.Н. Вострова, В.Н. Грибанов // Научно-технический прогресс в жилищно-коммунальном хозяйстве: материалы II-й Междунар. науч.-техн. конф. : в 2 т. – Минск : Институт ЖКХ НАН Беларуси, 2020. – Т. 2. – С. 99-108
3. Пехота, А.Н. Технология производства многокомпонентного твердого топлива с использованием отходов сточных вод / А. Н. Пехота, Б. Н. Хрусталеv, МиньФалВу, В. Н. Романюк, Е. А. Пехота, Р. Н. Вострова, ТхунгаНгуен // Энергетика. Изв. высш. учеб.заведений и энерг. объединений СНГ. – 2021. – Т. 64, № 6. – С. 525-537.
4. Способ получения топлива твердого многокомпонентного: пат. 18408 Респ. Беларусь, МПК С 10 L 5/48, С 10 L 5/06, С 10 L 5/36 / А. Н. Пехота, Б. М. Хрусталеv; заявитель Пехота Александр Николаевич; Хрусталеv Борис Михайлович (ВУ), № а 20120656; заявл. 25.04.2012; опубл. 30.08.2014. Афіцыйны бюл. Нац. цэнтры інтэлектуал. уласнасці. 2014. № 3. С. 174.
5. Пехота, А.Н. Многокомпонентное твердое топливо : [монография] / А.Н. Пехота ; М-во трансп. и коммуникаций Респ. Беларусь, Белорус.гос. ун-т трансп. – Гомель : БелГУТ, 2021.– 243 с.
6. Пехота, А.Н. Исследование энергетических характеристик многокомпонентного твердого топлива с использованием некондиционных горючих коммунальных и производственных отходов / А.Н. Пехота // Наука и техника : междунар. науч.-практ. журнал. – 2022. – № 2. – С. 164–174.

УДК 004.942, УДК 628.1, УДК 696.1

ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ПРОЕКТИРОВАНИИ И МОДЕЛИРОВАНИИ ИНЖЕНЕРНЫХ ВОДОХОЗЯЙСТВЕННЫХ СИСТЕМ

М. А. Таратенкова¹, С. В. Андреев², И. А. Адамов³

¹ Старший преподаватель, БрГТУ, Брест, Беларусь, taratenkava@mail.ru

² Заведующий кафедрой водоснабжения, водоотведения и охраны водных ресурсов, БрГТУ, Брест, Беларусь, svandreyuk@g.bstu.by

³ Студент, БрГТУ, Брест, Беларусь, ilya.adamov.03@gmail.com