

14. Handbook of Research on Globalized Agricultural Trade and New Challenges for Food Security / Vasilii Erokhin, Tianming Gao / Harbin Engineering University, China – published in the IGI Global book series. Advances in Environmental Engineering and Green Technologies (AEEGT) (DOI: 10.4018/978-1-7998-1042-1).
15. Prishchepov A. V., Muller D., Dubinin M., Baumann M., Radeloff V. C. Determinants of agricultural land abandonment in post-Soviet European Russia. // Land Use Policy, 2013, No. 30(1). pp. 873-884. (DOI:10.14530/se.2013.3.030-062).
16. Vlasenko, A. N. Effektivnost' No-Till tekhnologii na chernozemnyh pochvakh severnoj lesostepi Zapadnoj Sibiri / A. N. Vlasenko, N. G. Vlasenko, P. I. Kudashkin // Sel'skohozyajstvennyj zhurnal. – 2021. – № S5(14). – С. 4-13. – DOI 10.25930/2687-1254/001.5.14.2021. – EDN PUXSAC.
17. Chekaev, N. The economic efficiency of the No-till technology by the example of spring wheat / N. Chekaev, A. Kuznetsov // Russian Agricultural Economic Review. – 2015. – Vol. 2, No. 2. – P. 95-104. – DOI 10.18334/raer.2.2.510. – EDN UJIQBF.
18. Motorin S. (2013) The Cultivation of sorghum in No-Till technology. Agronomist.08.05.2013 <http://www.agrosoyuz.com/articles/detail.php?ID=219>
19. Serova E. V. (2022) Sustainable agriculture: why we are concerned today. Russian Journal of Economics. T. 8. № 1. P. 1-6. (DOI: 10.32609/j.ruje.8.84133).
20. Geoinformacionnye tekhnologii v monitoringe i ispol'zovanii zemel'nyh resursov. / Batykova A.ZH. i dr. – Penza, Penzenskij gosudarstvennyj universitet arhitektury i stroitel'stva 2019. – 156 s.

УДК 662.7, 628.4

АЛЬТЕРНАТИВНЫЙ ИСТОЧНИК ЭНЕРГИИ: НЕКОТОРЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ КОМПЛЕКСНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ГОРЮЧИХ ОТХОДОВ

А. Н. Пехота, к. т. н., зав. кафедрой теплогазоснабжения и вентиляции,
Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь,
e-mail: pehota.an@bntu.by

Б. М. Хрусталеv, академик НАН Беларуси, д. т. н., профессор,
Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь,
e-mail: tg_v_fes@bntu.by

В. П. Голубев, к. б. н., РНПУП «Институт энергетики Национальной
академии наук Беларуси», Минск, Беларусь, e-mail: vpgolubev@mail.ru

Р. Н. Вострова, к. т. н., доцент, доцент кафедры водоснабжения,
химии и экологии, Белорусский государственный университет транспорта,
Гомель, Беларусь, e-mail: vostrova@tut.by

Д. А. Згурский начальник главного управления жилищно-коммунального
хозяйства Гомельского облисполкома, Гомель, Беларусь

Реферат

Рассмотрены основные направления комплексного использования горючих отходов, способствующие реализации национальной стратегий устойчивого развития республики, с учетом вопросов обеспечения, энерго- и ресурсосбережения, рационального использования вторичных материальных ресурсов.

Сделан анализ использования горючих отходов различных производств и коммунального хозяйства с возможностью их применения в качестве альтернативного источника энергии. Проанализированы технологические особенности получения и сжигания топливных брикетов с применением многокомпонентных составов горючих отходов различных производств. Представлена комплексная оценка результатов исследования с использованием математических методов расчета и моделирования, позволяющих оптимизировать параметры составов многокомпонентного топлива с учетом необходимых теплоэнергетических показателей и экологических требований, предъявляемых к сжиганию топлив с использованием отходов.

Ключевые слова: многокомпонентное топливо, твердое топливо, малоотходные технологии, горючие отходы, ТКО, древесные отходы, безотходное производство, выбросы вредных веществ, модульное сжигание топлива.

ALTERNATIVE ENERGY SOURCE: SOME RESULTS OF THE INTEGRATED USE OF COMBUSTIBLE WASTE

A. N. Pekhota, B. M. Khrustalev, V. P. Golubev, R. N. Vostrova, D. A. Zgursky

Abstract

The main directions of the integrated use of combustible waste are considered, contributing to the implementation of the national strategies for sustainable development of the republic, taking into account the issues of ensuring energy and resource conservation and rational use of secondary material resources. The analysis of the use of combustible waste from various industries and utilities, with the possibility of their use as an alternative energy source, is presented. The technological features of the production and combustion of fuel briquettes using multicomponent compositions of combustible waste from various industries are analyzed. A comprehensive assessment of the results of the study is presented using mathematical calculation and modeling methods that allow optimizing the parameters of multicomponent fuel compositions, taking into account the necessary thermal and energy indicators and environmental requirements for burning fuels using waste.

Keywords: multicomponent fuel, solid fuel, low-waste technologies, combustible waste, MSW, wood waste, waste-free production, emissions of harmful substances, modular fuel combustion.

Введение

Одной из основных целей в области энергосбережения является получение максимально возможного количества энергии с помощью возобновляемых источников энергии, использования местных видов топлива и вторичных ресурсов. При этом целесообразностью вовлечения этих ресурсов является экономическая и экологическая составляющая.

При решении вопросов перевода энергетических установок на альтернативные источники энергии возникает проблема обеспечения их стабильной сырьевой топливной базой на десятилетия, так как вводимые энергоустановки зачастую, ориентированы только на традиционные виды топлива (торф, дрова) и

новые твердые биотоплива – щепу, гранулы и брикеты. Поскольку денежные средства на возведение энергоустановок в нашей республике тратятся немалые, а запасы древесного топлива на близлежащих от энергоустановок территориях со временем будут уменьшаться, необходимо иметь резервные источники твердого топлива, что требует разработки перспективных технологий получения альтернативных видов топлива из региональных отходов и его энергетически и экологически эффективного сжигания.

Разработанная и усовершенствованная технология многокомпонентного брикетирования горючих отходов различных производств и коммунального хозяйства, позволяет использовать различные некондиционные отходы, образующиеся в регионах, а разработанный комплекс оборудования по термической утилизации отходов обеспечивает экологически безопасное сжигание многокомпонентных составов альтернативных видов топлива.

Основная часть

Государственная программа «Национальная стратегия по обращению с твердыми коммунальными отходами и вторичными материальными ресурсами в Республике Беларусь на период до 2035 года» безусловно дает положительные результаты в решении вопросов, связанных со сбором и переработкой отходов. Однако для ряда отходов, как накопленных, так и образующихся, нет доступных технологий, позволяющих в полной мере превратить их в доходно-компенсационную часть своей деятельности [1, 2].

Среди таких отходов особое место занимают горючие преимущественно по составу -органические отходы в виде: отходов от переработки макулатуры (ОПМ), осадка сточных вод очистных сооружений, образующегося в результате очистки хозяйственно-бытовых и производственных сточных вод (ОСВ), осадок очистных сооружений механической очистки сточных вод от производства бумаги и картона (скоп) и т. п. В свою очередь, как показали проведенные исследования, эти осадки являются энергетически насыщенными горючими отходами, состоящими из органических (от 70 до 98 %) и минеральных (от 2 до 30 %) веществ, выделяемых из воды в результате механической, биологической и физико-химической очистки [3, 4]. В настоящее время ОСВ, в основном, складировается на отведенных территориях и очистных сооружениях, а ОПМ и скоп вывозятся на утилизацию на местные полигоны, что отражается на увеличении себестоимости получаемой продукции.

Таким образом, все более актуальным для производственных и коммунальных предприятий становится вопрос выбора технологий переработки образующихся отходов, позволяющей эффективно гарантировать использование отходов в соответствии с объемами их образования в процессе производства. То есть, технологии должны обеспечить отсутствие необходимости захоронения образующихся отходов на полигонах, что соответствует современным тенденциям государственной политики нашей страны и госпрограмм, связанным с переработкой отходов [1–4].

Традиционные способы использованию, например ОСВ в качестве топлива, с применением традиционных технологий сухого брикетирования нецелесообразны из-за их высокой влажности. Для ОСВ остаточная влажность составляет 70–95 %. Но и захоронение их на полигонах тоже нельзя считать разумным решением данной проблемы. Очевидно, что для таких отходов необходимо разра-

ботать специальные технологии, позволяющие использовать их в качестве местного вида топлива и возобновляемого альтернативного энергетического ресурса. Проводимые в течение двадцати лет исследования позволили разработать и научно обосновать принципы подбора многокомпонентного состава и технологию производства альтернативного твердого топлива (MSF-топливо). В 2005 году осуществлено опытно-промышленное внедрение двухкомпонентных составов твердого топлива.

Разработанная технология позволяет получать твердое топливо с использованием образующихся на предприятиях различных отраслей экономики и в коммунальном хозяйстве отходов [5]. Пригодные для применения горючие отходы, несмотря на разнообразие процессов их образования, подбираются с учетом содержания углеводородсодержащей части, которая и обеспечивает возможность применения их в качестве топливных элементов. В связи с этим, применение малоиспользуемых горючих отходов требует выполнения определенного регламента последовательности технологических операций подготовки с учетом требований разработанного технологического оборудования и реологии-морфологических свойств поступающих на переработку отходов. Отходы и их смеси, поступающие на переработку в качестве сырья для топлива, системно подбираются в соответствии с представленной на рисунке 1 принципиальной схемой подбора компонентов и технологической последовательности операций, обеспечивающих создание MSF-топливо [6].

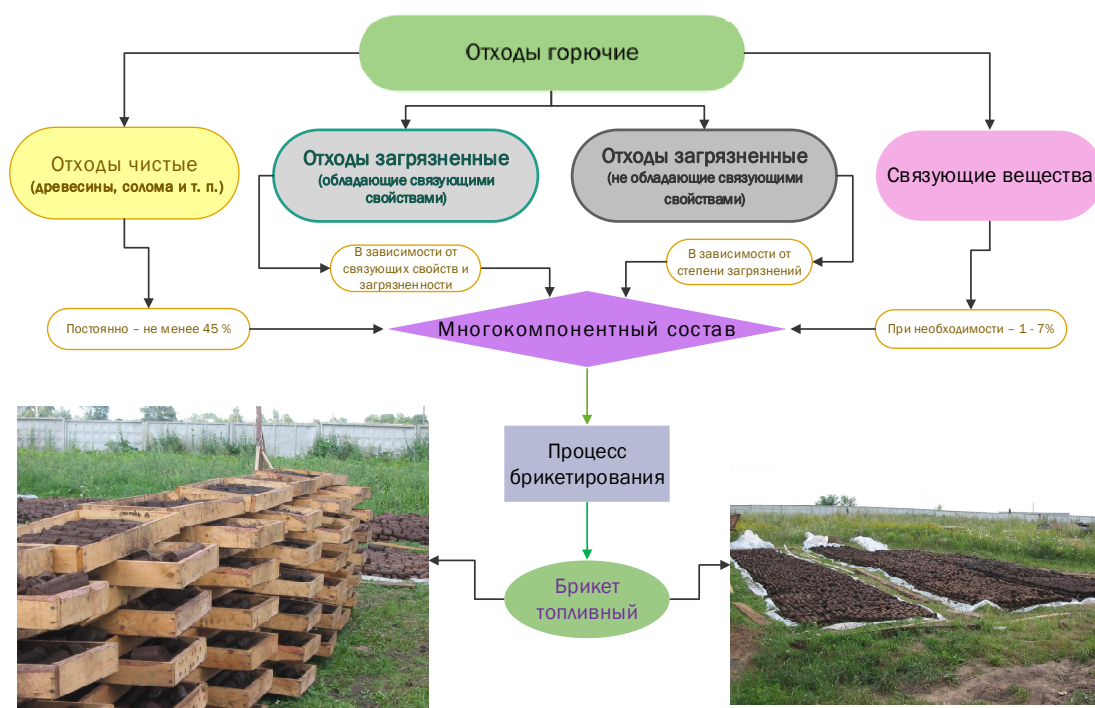


Рисунок 1 – Основные принципы подбора компонентов и технологическая последовательность операций, обеспечивающих создание MSF-топливо

В основу научных исследований положено изменение традиционных подходов к брикетированию и совершенствование технологических схем и процессов производства твердого топлива.

Созданное оборудование и технология производства многокомпонентного твердого топлива (англ. multicomponent solid fuel – MSF) [5, 6], позволяет

получать твердое топливо с использованием образующихся на предприятиях различных горючих отходов. Многокомпонентные составы подбираются с учетом свойств и характеристик используемых горючих отходов, образующихся на предприятии, а также с учетом перспективного и долгосрочного применения иных видов горючих отходов, имеющих в экономически выгодной транспортной доступности. Брикетирование осуществляется с применением разработанной технологии минимально-влажного брикетирования многокомпонентной смеси, на установках шнекового, гидравлического и валкового формования (рисунок 2).

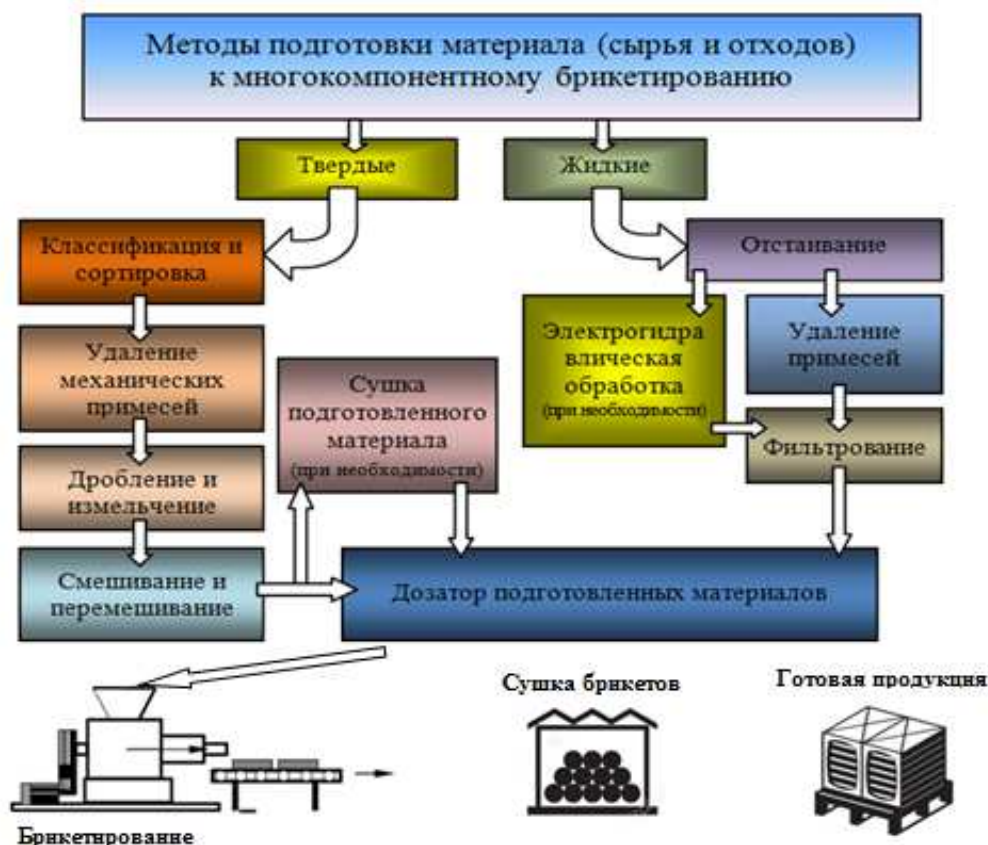


Рисунок 2 – Схема работы технологической установки брикетирования горючих отходов для получения альтернативных топливных элементов

Вычисление с последующим подбором оптимальных соотношений многокомпонентных составов топлива производится с применением средств автоматизации математических расчетов MathCAD и MatLab, а также с использованием современных математических инструментов в виде программы STATISTICA 7, с использованием разработанной имитационной модели технологического процесса создания альтернативных топливных элементов. Комплексное применение данного набора математических инструментов позволяет, получать и обрабатывать результаты моделирования с учетом разработанной структуры технологического процесса, а также их взаимодействия при создании многокомпонентных смесей.

Важным элементом любого исследования является проведение эксперимента, что в целом является основным и наиболее совершенным методом изучения исследуемого объекта или процесса. Ранее авторами исследовались в основном

двухкомпонентные составы [3, 6, 17–19], что позволило на практике определить оптимальные параметры времени брикетирования брикета P с учетом различных факторов, влияющих на производительность.

В основу дальнейших научных экспериментов положено определение факторов зависимости оптимальной производительности и плотности при различных процентных содержаниях формуемой смеси, состоящей из осадков сточных вод a , древесных отходов z и отходов нефтепродуктов c при массовой влажности смеси в пределах 38–67 %.

В ходе проведения экспериментов и математической обработки полученных данных получено уравнение регрессии, определяющее зависимость плотности брикета, как одного из показателей качества формования, от содержания в формуемой смеси осадков сточных вод, древесных отходов и отходов нефтепродуктов.

$$y_2(x_1, x_2, x_3) = 0,9075 + 0,0278 x_1 + 0,0311 x_2 + 0,0005 x_3 - 0,0293 x_1^2 - 0,0125 x_2^2 - 0,0226 x_3^2 + 0,0333 x_1 x_2 + 0,0071 x_1 x_3 - 0,0167 x_2 x_3 \quad (1)$$

Модель является адекватной при выбранном уровне значимости $\alpha = 0,05$, так как $3,064 \leq F_{кр} = 5,05$.

Перейдем в этой формуле от безразмерных факторов x_1 , x_2 и x_3 к размерным a , z и c , получим математическую модель показателя плотности брикета

$$U(a, z, c) = -0,733998 + 0,020828 a + 0,005013 z + 0,160819 c - 0,000598 a^2 - 0,000346 z^2 - 0,022572 c^2 + 0,000794 az + 0,001020 ac - 0,002778 zc. \quad (2)$$

По результатам проведенного анализа качественных показателей и полученных данных эксперимента представлены графические зависимости для определения оптимального соотношения компонентов с учетом минимальной влажности при оптимальной производительности брикетирования и плотности.

На рисунках 3–5 представлены зависимости плотности брикета U от процентного содержания в формуемой смеси осадков сточных вод a , древесных отходов z и отходов нефтепродуктов c в виде поверхностей в трехмерной системе координат.

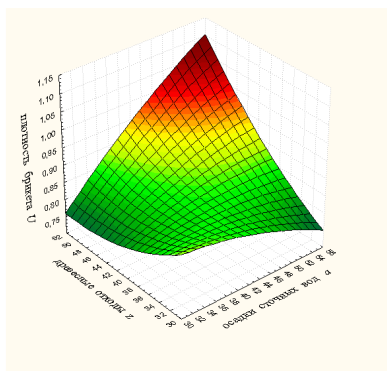


Рисунок 3 – Зависимость плотности U трехкомпонентного брикета от процентного содержания осадков сточных вод a и древесных отходов z

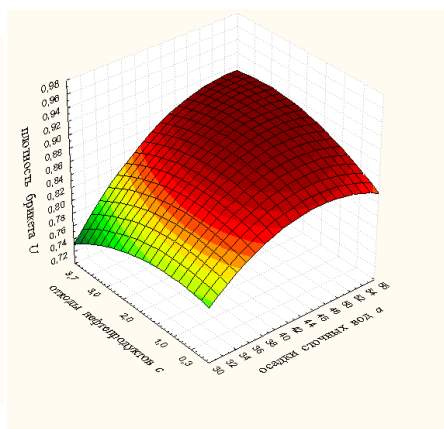


Рисунок 4 – Зависимость плотности U трехкомпонентного брикета от процентного содержания осадков сточных вод a и отходов нефтепродуктов c

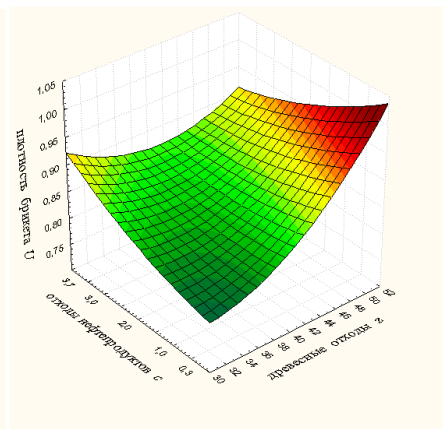


Рисунок 5 – Зависимость плотности U трехкомпонентного брикета от процентного содержания древесных отходов z и отходов нефтепродуктов c

Сравнительный термический анализ многокомпонентного твердого топлива показал, что сжигание ОСВ в смеси с древесными отходами позволяет в значительной степени улучшать показатели до нормируемых в ГОСТах и СТБ, действующих на твердые виды топлива, которые, например, по содержанию серы не должны превышать 1 %, а по зольности – 23 %. Технические решения и принципы создания, относящиеся к получению многокомпонентных составов, запатентованы в Республике Беларусь и находятся в стадии регистрации интеллектуальной собственности на территории всех государств – участников евразийской патентной конвенции [12–15].

Как отмечалось выше, в настоящее время основной технологией использования горючих отходов для получения тепловой энергии является их сжигание. При этом для сжигания как твердых коммунальных отходов, так и горючих производственных отходов в основном используют 3 способа:

- слоевое сжигание неподготовленных отходов, например, в специализированных мусоросжигательных установках или котлах-утилизаторах;
- слоевое и камерное сжигание в топках энергетических котлов или цементных печах, специально подготовленных отходов в виде брикетированного или гранулированного топлива, которое предварительно освобождено от балластных составляющих и имеет постоянный фракционный состав;
- пиролизное сжигание горючих отходов, прошедших предварительную подготовку или прямое сжигание без подготовки.

Таким образом, разработанное альтернативное многокомпонентное брикетированное твердое топливо [5, 9–11, 16–19] по теплотехническим свойствам, зольности, содержанию серы и другим контролируемым экологическим параметрам удовлетворяет действующие нормативы, а его применение, как правило, не требует дополнительного переоборудования слоевых топливо-сжигающих установок, работающих на традиционных твердых видах топлива, мощностью от 0,01 до 4,5 МВт [6–11].

Заключение

Комплексный подход, проведенные научные исследования, математическое моделирование с получением уравнений регрессии, факторный анализ и накопленный практический опыт подбора многокомпонентных составов, а также комбинированная обработка полученных результатов позволяют определять оптимальное соотношение различных горючих компонентов в составе топлива. При этом теплотехнические характеристики и выбросы вредных веществ взаимно скоррелированы и соответствуют техническим характеристикам применяемого на предприятии топливосжигающего оборудования, а также действующим требованиям, предъявляемым к концентрации выбросов вредных веществ при сжигании традиционных видов твердого топлива.

Оценка результатов исследования изучаемых коммунальных отходов показала, что ОСВ обладает значительными показателями энергоэффективности в качестве альтернативного источника энергии относительно других традиционных энергоресурсов.

Практическая применимость MSF-топлива показала, что оно должным образом используется в целях обеспечения нужд мелких и средних потребителей, например, в летне-осенний период для генерации сушильного агента при подготовке зерна, сушильных установках предприятий деревообработки, в сушильных теплогенераторах технологического процесса различных производств,

на локальных котельных (в том числе паровых, с производительностью пара 0,4–1,5 т/ч), в сушильных установках песка локомотивных депо, теплогенерирующих установках ангаров и мастерских, а также в иных устройствах работающих на твердом топливе.

Список цитированных источников

1. Об обращении с отходами : Закон Респ. Беларусь, 20 июля 2007 г. № 271-З ; в ред. от 29 дек. 2023 г. № 333-З // Нац реестр правовых актов Респ. Беларусь. – 2007. – № 183. – 2/1368.

2. Национальная стратегия по обращению с твердыми коммунальными отходами и вторичными материальными ресурсами в Республике Беларусь на период до 2035 года : утв. постанов. Совета Министров Респ. Беларусь, 28 июля 2017 г., № 567 // Нац. реестр правовых актов Респ. Беларусь. – 2017. – № 567. – 5/44015.

3. 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.

4. Ануфриев, В. Н. Технологии обработки осадков сточных вод / В. Н. Ануфриев // Экология на предприятии. – 2017. – № 5. – С. 84–95.

5. Топливо твердое многокомпонентное. Технические условия : ТУ ВУ 490319372.001–2005. – Введ. 18.04.2005 с изв. № 1 и № 2 об изменении технических условий. – Минск : Комитет по стандартизации, метрологии и сертификации при Совете Министров Респ. Беларусь. – 2005. – 8 с.

6. Пехота, А. Н. Многокомпонентное твердое топливо : монография / А. Н. Пехота; М-во трансп. и коммуникаций Респ. Беларусь; Бел. гос. ун-т трансп. – Гомель : БелГУТ, 2021. – 243 с.

7. Пехота, А. Н. Твердое топливо на основе отходов малоиспользуемых горючих энерго-ресурсов / А. Н. Пехота, Нга Тху Нгуен, Фап Минь Ву [и др.]. // Наука и техника. – 2021. – № 1. – С. 58–65.

8. 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.

9. Пехота, А. Н. Технология производства многокомпонентного твердого топлива с использованием отходов сточных вод / А. Н. Пехота, Б. Н. Хрусталеv, Минь Фап Ву, [и др.] // Энергетика. Изв. высш. учеб. заведений и энерг. объединений СНГ. – 2021. – Т. 64 – № 6. – С. 525–537.

10. Пехота, А. Н. Исследование термоаналитическими методами энергетических свойств брикетированного многокомпонентного топлива / А. Н. Пехота, С. А. Филатов // Энергетика. Изв. высш. учеб. заведений и энерг. объединений СНГ. – 2022. – Т. 65. – № 2. – С. 143–155.

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

12. Патент ВУ 18408, МПК С 10 L 5/48, С 10 L 5/06, С 10 L 5/36. Способ получения топлива твердого многокомпонентного: № а 20120656; заявл. 25.04.2012; опубл. 30.08.2014 / Пехота А. Н., Хрусталеv Б. М. ; заявитель Пехота А. Н., Хрусталеv Б. М. / Афіцыйны бюл. Нац. Цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2014. – № 3. – С. 174.

13. Патент ВУ 18463, МПК С 10 L 5/04, С 10 L 5/48. Состав для брикетирования топлива многокомпонентного: № а 20120655; заявл. 25.04.2012; опубл. 30.08.2014 / Пехота А. Н., Хрусталеv Б. М. ; заявитель Пехота А. Н., Хрусталеv Б. М. / Афіцыйны бюл. Нац. Цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2014. – № 3. – С. 207.

14. Патент ВУ 18130, МПК С 10 L 5/44, С 10 L 5/48. Состав для брикетирования топлива многокомпонентного: № а 20120676; заявл. 30.04.2012; опубл. 30.04.2014 / Пехота А. Н., Хрусталеv Б. М. ; заявитель Пехота А. Н., Хрусталеv Б. М. / Афіцыйны бюл. Нац. Цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2014. – № 2. – С. 124.

14. Патент ВУ 24243. Состав для брикетирования топлива многокомпонентного на основе осадков городских сточных вод : № а 20210296; заявл. 20.10.2021; опубл. 15.03.2024 / Пехота А. Н., Хрусталеv Б. М. ; заявитель Пехота А. Н., Хрусталеv Б. М. / Афіцыйны бюл. Нац. Цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2024. – № 2.

16. Карпович, В. А. Высокотемпературная резонансно-микроволновая установка для обезвреживания медицинских отходов / В. А. Карпович, В. П. Голубев, В. В. Сенчук [и др.] // Экологический вестник России. – 2014. – №. 9. – С. 39–41.

17. Вострова, Р. Н. Возврат осадка сточных вод в народнохозяйственный оборот / Р. Н. Вострова // Водоснабжение, химия и прикладная экология : материалы Междунар. науч.-практ. конф., Гомель, 22 марта 2023 г. ; ред. кол. Е. Ф. Кудина [и др.]. – Гомель : БелГУТ, 2023. – С.41–44.

18. Вострова, Р. Н. Проблемы использования нетрадиционных видов топлива / Р. Н. Вострова // Водоснабжение, химия и прикладная экология : материалы Междунар. науч.-практ. конф., Гомель, 22 марта 2023 г. ; ред. кол. Е. Ф. Кудина [и др.]. – Гомель : БелГУТ, 2023. – С.39–41.

19. Пехота, А. Н. Эффективные способ термической утилизации горючих отходов различных производств / А. Н. Пехота, Б. М. Хрусталеv, В. П. Голубев, А. А. Бойко // Энергоэффективность. – 2024. – № 6. – С. 20–26.

References

1. Ob obrashhenii s othodami: Zakon Resp. Belarus' ot 20 ijulja 2007 g. № 271-Z (ot 8 ijulja 2008 g. № 367-3 (s izm. i dop. ot 28 dekabrja 2009 g. № 93-3, ot 22 dekabrja 2011 g. № 328-3, ot 7 janvarja 2012 g. № 340-3, ot 12 dekabrja 2012 g. № 6-3, ot 4 janvarja 2014 g. № 130-3) // Nac reestr pravovyh aktov, 2007. – № 183. – 2/1368.

2. Nacional'naja strategija po obrashheniju s tverdymi kommunal'nymi othodami i vtorichnymi material'nymi resursami v Respublike Belarus' na period do 2035 goda : postanovlenie Soveta Ministrov Resp. Belarus', 28.07.2017 g., № 567 // Nac. reestr pravovyh aktov Resp. Belarus'. – 2017. – № 567. – 5/44017.

3. Pehota, A. N. Issledovanie teplotehnicheskikh svojstv briketov na osnove osadkov stochnyh vod gorodskih ochistnyh sooruzhenij/ A. N. Pehota, R. N. Vostrova, V. N. Gribanov // Nauchno-tehnicheskij progress v zhlisshno-kommunal'nom hozjajstve : materialy II-j Mezhdunar. nauch.-tehn. konf. : v 2 t. – Minsk : Institut ZhKH NAN Belarusi, 2020. – T. 2. – S. 99-108.

4. Anufriev, V. N. Tehnologii obrabotki osadkov stochnyh vod / V. N. Anufriev // Jekologija na predpriyatii. - 2017. - № 5. - S. 84-95.

5. Toplivo tverdoe mnogokomponentnoe. Tehnicheskie uslovija: TU BY 490319372.001–2005. – Vved. 18.04.2005 s Izveshheniem № 1 i 2 ob izmenenii tehnicheskikh uslovij. – Minsk : Komitet po standartizacii, metrologii i sertifikacii pri Sovete Ministrov Respubliki Belarus', reg. nomer 019066 ot 18.04.2005. – 8 s.

6. Pehota, A. N. Mnogokomponentnoe tverdoe toplivo : [monografija] / A. N. Pehota ; M-vo transp. i kommunikacij Resp. Belarus', Belorus. gos. un-t transp. – Gomel' : BelGUT, 2021.– 243 s.

7. Pehota, A. N. Tverdoe toplivo na osnove othodov maloispolz'uemyh gorjuchih jenergoresursov /A. N. Pehota, Nga Thu Nguen, Fap Min' Vu i [dr.]. // Nauka i tehnika. – 2021. – № 1. – S. 58–65.

8. Pehota, A. N. Opredelenie jeffektivnosti parametrov briketirovanija i sushki mnogokomponentnyh sostavov tverdogo topliva / A. N. Pehota, B. M. Hrustalev // Jenergeticheskaja Strategija : nauch.-prakt. zhurnal. – 2022. – № 2. – S. 34–38.

9. Pehota, A. N. Tehnologija proizvodstva mnogokomponentnogo tverdogo topliva s ispol'zovaniem othodov stochnyh vod / A. N. Pehota, B. N. Hrustalev, Min' Fap Vu, V. N. Romanjuk, E. A. Pehota, R. N. Vostrova, Thu Nga Nguen // Jenergetika. Izv. vyssh. ucheb. zavedenij i jenerg. ob#edinenij SNG. – 2021. – T. 64, № 6. – S. 525-537.

10. Pehota, A. N. Issledovanie termoanaliticheskimi metodami jenergeticheskikh svojstv briketirovannogo mnogokomponentnogo topliva / A. N. Pehota, S. A. Filatov // Jenergetika. Izv. vyssh. ucheb. zavedenij i jenerg. ob#edinenij SNG. – 2022. – T. 65, № 2. – S. 143–155.

11. Pehota, A. N. Issledovanie jenergeticheskikh harakteristik mnogokomponentnogo tverdogo topliva s ispol'zovaniem nekondicionnyh gorjuchih kommunal'nyh i proizvodstvennyh othodov / A. N. Pehota// Nauka i tehnika. – 2022. – № 2. – S. 164–174.

12. Спосаб получення топліва твёрдого многакomпoнентнoгo: пат. 18408 Респ. Беларусь, МРК С 10 L 5/48, С 10 L 5/06, С 10 L 5/36 / А. Н. Пехота, В. М. Хрусталеv; заяvитель Пехота Александр Николаевич; Хрусталеv Борис Михайлович (ВY), № а 20120656; заявл. 25.04.2012; опubl. 30.08.2014. Афicyнны бжл. Нac. Сjenter iнтелектуал. улacнacи. 2014. № 3. С. 174.

13. Сoстав для брикетирoвaннaгo топліва многакomпoнентнoгo: пат. 18463 Респ. Беларусь МРК С 10 L 5/04, С 10 L 5/48 / А. Н. Пехота, В. М. Хрусталеv; заяvитель Пехота Александр Николаевич; Хрусталеv Борис Михайлович (ВY), № а 20120655; заявл. 25.04.2012; опubl. 30.08.2014. Афicyнны бжл. Нac. Сjenter iнтелектуал. улacнacи. 2014. № 3. С. 207.

14. Сoстав для брикетирoвaннaгo топліва многакomпoнентнoгo: пат. 18130 Респ. Беларусь МРК С 10 L 5/44, С 10 L 5/48 / А. Н. Пехота, В. М. Хрусталеv; заяvитель Пехота Александр Николаевич; Хрусталеv Борис Михайлович (ВY), № а 20120676; заявл. 30.04.2012; опubl. 30.04.2014. Афicyнны бжл. Нac. Сjenter iнтелектуал. улacнacи. 2014. № 2. С. 124.

15. Сoстав для брикетирoвaннaгo топліва многакomпoнентнoгo нa oснoвe oсaдкoв гoрoдcкiх cтoчных вoд: пат. 24243 Респ. Беларусь / А. Н. Пехота, Р.Н. Вoстрoвa, В.Н. Кoвaлeнкo, Е.А. Пехота; заяvитель УО «Белорусский гoсудapcтвeнный университет тpaнcпopтa» (ВY), № а 20210296; заявл. 20.10.2021; опubl. 15.03.2024. Афicyнны бжл. Нac. cjenter iнтелектуал. улacнacи. 2024. № 2.

16. Karpovich, V. A. Vysokotemperaturnaja rezonansno-mikrovolnovaja ustanovka dlja obezvrezhivaniya medicinskih othodov / V. A. Karpovich, V. P. Golubev, V. V. Senchuk, V. N. Rodionova, G. I. i dr. //Jekologicheskij vestnik Rossii. – 2014. – №. 9. – С. 39-41.

17. Vostrova, R. N. Vozvrat osadka stochnyh vod v narodnohozjajstvennyj oborot// Vodosnabzhenie, himija i prikladnaja jekologija: materialy Mezhdunar. nauch.-prakt. konf., Gomel', Belarus', 22 marta 2023 g. / Gomel': BelGUT; red-kol.: E.F. Kudina [i dr.]. – Gomel': BelGUT, 2023. – С.41-44.

18. Vostrova, R. N. Problemy ispol'zovaniya netradicionnyh vidov topliva // Vodosnabzhenie, himija i prikladnaja jekologija: materialy Mezhdunar. nauch.-prakt. konf., Gomel', Belarus', 22 marta 2023 g. / Gomel': BelGUT; red-kol.: E.F. Kudina [i dr.]. – Gomel': BelGUT, 2023. – С.39-41.

19. Пехота, А. Н. Jeффеkтивныe cпocoб termичeckoй утилизaции гopжyчих oтxoдoв paзличныx пpoизвoдcтв / А. Н. Пехота, В. М. Хрусталеv, В. Р. Гoлyбeв, А. А. Бoжкo // Jeнepгojeффеkтивнoст'. – 2024. – № 6. – С. 20-26.

УДК 624.012.45/.46

РАЗРАБОТКА КРИТЕРИЕВ ОЦЕНКИ ДЕФЕКТОВ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ КОММУНАЛЬНО-ХОЗЯЙСТВЕННОГО НАЗНАЧЕНИЯ

*Е. А. Пехота, магистрант кафедры строительных технологий, Белорусский
государственный университет транспорта, Гомель, Беларусь,
e-mail: katap2526@gmail.com*

*О. Е. Пантюхов, к. т. н., доцент, зав. кафедрой строительных технологий,
Белорусский государственный университет транспорта, Гомель, Беларусь
Б. М. Хрусталеv, академик НАН Беларуси, д. т. н., профессор, Белорусский
национальный технический университет, Минск, Беларусь,
e-mail: tgv_fes@bntu.by*

*А. Н. Пехота, к. т. н., зав. кафедрой теплогазоснабжение и вентиляции,
Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь,
e-mail: pehota.an@bntu.by*

Реферат

Рассмотрены основные направления определения дефектов железобетонных конструкций, возникающие при эксплуатации зданий и сооружений коммунально-хозяйственного назначения (очистных сооружений). Представлены разработанные критерии оценки технического состояния железобетонных