

<https://doi.org/10.21122/2227-1031-2021-20-1-58-65>

УДК 662.8.05

Твердое топливо на основе отходов малоиспользуемых горючих энергоресурсов

Академик НАН Беларуси, докт. техн. наук, проф. Б. М. Хрусталеv¹⁾, кандидаты техн. наук А. Н. Пехота²⁾, Нгуен Тху Нга³⁾, Ву Минь Фап³⁾

¹⁾Белорусский национальный технический университет (Минск, Республика Беларусь),

²⁾Белорусский государственный университет транспорта (Гомель, Республика Беларусь),

³⁾Научный энергетический институт, Вьетнамская академия наук и технологий (Ханой, Социалистическая Республика Вьетнам)

©Белорусский национальный технический университет, 2021
Belarusian National Technical University, 2021

Реферат. Представлены основные тенденции образования отходов в зависимости от роста мирового ВВП и численности населения планеты. Рассмотрены основные направления концепции национальных стратегий устойчивого развития с учетом проблем энерго- и ресурсосбережения, а также необходимости рационального использования природных и вторичных ресурсов во многих странах мирового сообщества. Использование энергетического потенциала горючих отходов, не нашедших технологического применения, для многих государств – одно из приоритетных направлений в области нетрадиционной энергетики. В статье представлена технология брикетирования многокомпонентных горючих составов в твердое топливо в разных областях. Разработанная технология позволяет перерабатывать отходы производства путем их брикетирования с добавлением различных связующих веществ. На примере связующего компонента в виде вязких углеводородсодержащих отходов показаны основные технологические особенности получения твердого многокомпонентного топлива. Описано оборудование электрогидравлической обработки, работающее в составе линии подготовки к брикетированию применяемых нефтесодержащих отходов, позволяющее уменьшать содержание серы в используемых отходах, что дает возможность регулировать экологические характеристики выбросов вредных веществ на предельно допустимом уровне. С учетом аспектов применения технологии влажного брикетирования материалов отражено влияние влажности на производительность в зависимости от содержания связующего компонента. Предложенный алгоритм решения поставленной задачи позволяет рационально использовать некондиционные горючие производственные отходы для получения многокомпонентного твердого топлива, при этом на стадии производства учитываются энергетические и экологические аспекты.

Ключевые слова: твердое топливо, многокомпонентный состав, связующее, углеводородные отходы, теплота сгорания, технология, брикетирование, выбросы, отходы, нетрадиционные энергоресурсы

Для цитирования: Твердое топливо на основе отходов малоиспользуемых горючих энергоресурсов / Б. М. Хрусталеv [и др.] // *Наука и техника*. 2021. Т. 20, № 1. С. 58–65. <https://doi.org/10.21122/2227-1031-2021-20-1-58-65>

Solid Fuel Based on Waste of Low-Utilized Combustible Energy Resources

B. M. Khroustalev¹⁾, A. N. Pekhota²⁾, Nguyen Thuy Nga³⁾, Vu Minh Phap³⁾

¹⁾Belarusian National Technical University (Minsk, Republic of Belarus),

²⁾Belarusian State University of Transport (Gomel, Republic of Belarus),

³⁾Institute of Energy Science, Vietnam Academy of Science and Technology (Hanoi, Socialist Republic of Vietnam)

Abstract. The paper presents main trends in growth and generation of waste, depending on increase of world GDP and the population of the planet. The main directions in extending the concept of national strategies for sustainable development have been considered with due account of energy and resource conservation problems, as well as the need for the rational use

Адрес для переписки

Хрусталеv Борис Михайлович
Белорусский национальный технический университет
просп. Независимости, 65,
220013, г. Минск, Республика Беларусь
Тел.: +375 17 293-93-52
tg_vfes@bntu.by

Address for correspondence

Khroustalev Boris M.
Belarusian National Technical University
65, Nezavisimosty Ave.,
220013, Minsk, Republic of Belarus
Tel.: +375 17 293-93-52
tg_vfes@bntu.by

of natural and secondary resources in all countries of the world community. The energy potential use of combustible waste that has not found technological application is considered by many countries as one of the priority areas in the field of unconventional energy. The paper describes the main directions in application of the technology for briquetting multicomponent compositions into solid fuel. The developed production technology makes it possible to process waste products by briquetting them with the addition of various binders, and on the example of a binder component in the form of viscous hydrocarbon-containing waste, the main technological features of obtaining solid multicomponent fuel are presented in the paper. The paper describes the equipment for electrohydraulic treatment, which operates as a part of the preparation line for briquetting of the applied oily waste and that allows to reduce the sulphur content in the waste used, and such approach in general permits to regulate the environmental characteristics of harmful substance emissions at the maximum acceptable level. Taking into account the application aspects of the technology for wet briquetting of materials, the paper reflects the main results of the obtained dependences of humidity on productivity according to the content of the binder component. The proposed algorithm for solving the problem makes it possible to rationally use of substandard combustible industrial waste to obtain a multicomponent solid fuel, while at the production stage, the energy and environmental aspects of the resulting fuel are taken into account with due consideration of the component composition of the fuel.

Keywords: solid fuel, multicomponent composition, binder, hydrocarbon waste, heat of combustion, technology, briquetting, emissions, waste, unconventional energy resources

For citation: Khrustalev B. M., Pekhota A. N., Nguyen Thuy Nga, Vu Minh Phap (2021) Solid Fuel Based on Waste of Low-Utilized Combustible Energy Resources. *Science and Technique*. 20 (1), 58–65. <https://doi.org/10.21122/2227-1031-2021-20-1-58-65> (in Russian)

Введение

В последние десятилетия многими странами в рамках развития концепции национальных стратегий устойчивого развития осуществляется стремительный переход к эффективному использованию производственных отходов, отходов потребления и биомассы с применением технологий сжигания и получения топлива. Например, страны Евросоюза декларируют до 2030 г. замещение четвертой части потребляемого топлива для транспорта за счет жидких видов биотоплива, получение которых будет осуществляться с помощью технологий переработки различных отходов и биомассы. Такие достижения в использовании нетрадиционных и возобновляемых источников энергии в энергетике возможны только за счет накопленного исследовательского, технологического и практического опыта вовлечения горючих производственных и бытовых отходов, а также биомассы как источников химической энергии. Развитие данного направления применения горючих отходов в качестве нетрадиционных и возобновляемых источников энергии в энергетике в первую очередь связано с увеличивающимся мировым потреблением, обеспечиваемым ростом как национального, так и мирового ВВП (рис. 1). Так, по данным Института экономики НАН Беларуси [1], представленным в табл. 1, численность населения на нашей планете прибавляется по 1 млрд чел. последние 60 лет с динамикой каждые 13 лет. А в ближайшей перспективе этот период будет уменьшаться до 11–8 лет, что неразрывно связано с растущей необходимостью использования отходов жизнедеятельности человека и производств.

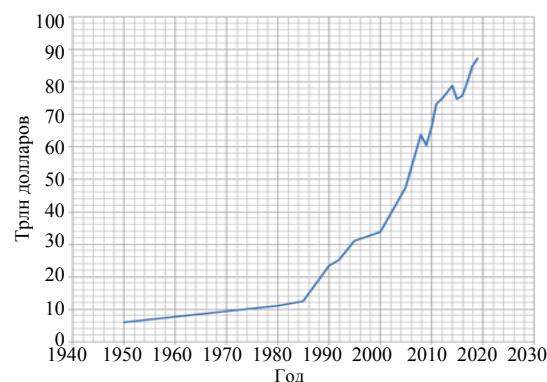


Рис. 1. Тенденция роста ВВП в странах мира за 1950–2019 гг.

Fig. 1. World GDP growth trend in the period of 1950–2019

Таблица 1

Динамика роста численности населения на планете Земля

Population growth dynamics of people on planet Earth

Годы, в которые возможно выполнить расчет населения	Количество населения планеты Земля, млрд чел.	Период между годами, через лет
1805	1	555 (с 1250 г.)
1927	2	122
1959	3	32
1974	4	15
1987, 11 июля	5	13
1999, 12 октября	6	12
2011, 31 октября	7	12
2020, 31 декабря	7,858772994*	9
* Предполагаемое количество населения на конец 2020 г.		

На фоне данных табл. 1, согласно оценкам ООН, ежегодно из недр Земли извлекается около 100 млрд т полезных ископаемых. В том числе на планете скопились сотни миллиар-

дов тонн промышленных отходов (ежегодно в США их объем увеличивается на 4,5 млрд т, в Западной Европе – на 2,0 млрд т, в Японии – на 1,3 млрд т) [2]. Не лучше ситуация и с использованием твердых коммунально-бытовых отходов. Ожидается, что к 2030 г. человечеству потребуется на 50 % больше продовольствия и соответственно различных минерально-сырьевых ресурсов, чем сегодня. В связи с ростом населения и развитием мировой экономики к 2035 г. глобальное потребление энергии увеличится примерно на 50 % по сравнению с потреблением энергии в настоящее время.

Становится очевидным, что уже в обозримом будущем многие страны, в первую очередь с развитой системой экономики и производства, могут начать испытывать дефицит в природных энергетических ресурсах. С учетом соотношения темпов наращивания объемов использования энергетических ресурсов с обеспеченностью в мире запасами органических топлив можно ожидать, что при существующих темпах ежегодного спроса ситуация будет выглядеть следующим образом. Например, спрос на электроэнергию в цивилизованных странах ежегодно будет увеличиваться примерно на 2,5–3,0 %. В соответствии с этим обеспеченность в мире запасами органических топлив составит (по разным источникам): по нефти – 25–48 лет, по газу – 35–64 года, по углю – 228–330 лет.

Все это свидетельствует об остроте проблем энергосбережения, а также о необходимости рационального использования природных и вторичных ресурсов во всех странах мирового сообщества. В то же время последними исследованиями установлено, что экономически оправданное применение горючих бытовых и производственных отходов как энергетического топлива позволяет покрыть 26 % мировой энергетической потребности.

Технология получения MSF-топлива

В рамках решения вопросов обеспечения эффективного использования энергетических ресурсов учеными и исследователями многих стран проводятся изыскания и анализируется потенциал возможности более широкого применения нетрадиционных и возобновляемых источников энергии, в том числе и от использования производственных, бытовых и других отходов.

Одним из путей решения проблем возврата отходов, не нашедших технологического применения в деловом обороте, является их использование в качестве топлива. При этом не

всегда горючие отходы находятся в том виде, в котором они пригодны для применения, по причине повышенной влажности, окислительных процессов, седиментации, внешнего вида и т. п. А это затрудняет и порой останавливает обладателя отходов в их использовании. Также зачастую проблемой являются не только вопросы, связанные с подготовкой имеющегося сырья к брикетированию, но и с формированием процессов создания топлива, обеспечивающего качественные эксплуатационно-технические характеристики, учитывающие оптимальный с энергетической и экологической точек зрения сбалансированный состав топлива.

Получение такого топлива достигается применением разработанных технологий многокомпонентного брикетирования, которое названо авторами MSF-топливо (англ. – multicomponent solid fuel) [1]. На рис. 2 представлена принципиальная технологическая схема многокомпонентного брикетирования с использованием связующих компонентов или веществ.

Технологии получения MSF-топлива основаны на влажном брикетировании многокомпонентных смесей с использованием связующих компонентов или материалов, обеспечивающих в составе брикетируемой смеси процессы объединения мелких разобщенных частиц в крупные структурные соединения с требуемыми геометрическими, механическими параметрами и необходимыми энергетическими свойствами.

Принципиальная технологическая схема многокомпонентного брикетирования представляет собой использование различных измельченных горючих отходов растительно-древесного происхождения (РД-отходов). К ним, как правило, относят отходы деревообработки, лесозаготовок, лузгу, костру и т. п. Они в большинстве разработанных многокомпонентных составов являются базовым компонентом, к которому можно добавлять другие виды горючих отходов в определенном (исследованном) соотношении. Например, возможно добавление таких горючих компонентов, не нашедших технологического применения (горючие отходы НТП), как отработанные нефтесодержащие сорбенты, топливные и масляные элементы фильтров, опилки и ветошь, насыщенные нефтепродуктами, осадки сточных вод очистных сооружений, отходы животноводства и птицеводства, коммунально-бытовые отходы и т. п. Важным условием их применения является определенный технологический цикл подготовки этих материалов, который рассмотрим отдельно.

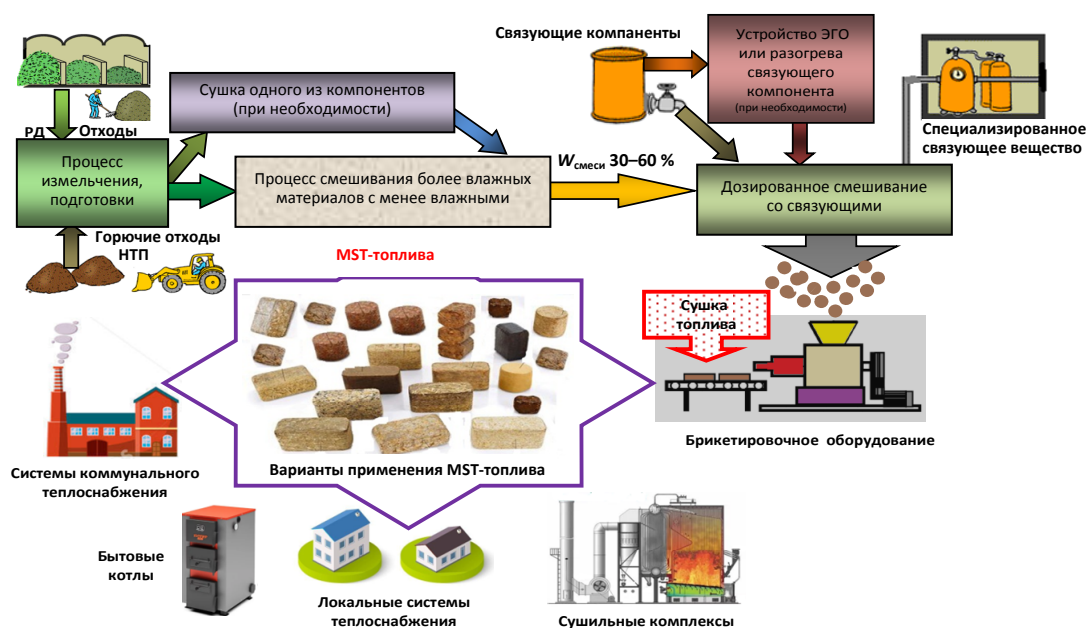


Рис. 2. Принципиальная технологическая схема брикетирования MSF-топлива с использованием связующих методом непрерывного брикетирования влажных многокомпонентных составов

Fig. 2. Basic technological scheme of MSF-fuel briquetting using binders by the method of continuous briquetting of wet multicomponent compositions

В зависимости от состава, морфологического состояния и влажности поступающих на переработку отходов, а также с учетом их приоритетного соотношения в подготавливаемой брикетируемой смеси применяется наиболее технически простая и экономически оправданная система получения необходимой влажности смешиваемых компонентов смеси. Влажность после процесса подготовки – наиболее ответственный технологический цикл, обеспечивающий в дальнейшем максимальную производительность оборудования брикетирования и формирование статичного влажного каркаса топлива, поступающего на сушку. При этом добавление связующего компонента или вещества при влажном брикетировании является обязательным в силу того, что с их участием решается много технологических задач, основные из которых:

- интенсивность адсорбции связующего вещества с брикетируемыми частицами с образованием на поверхности тонкой пленки связующего;
- качественное формирование поверхности, формы, плотности и необходимых типоразмеров брикетов;
- возможность регулирования теплоты сгорания (с использованием нефтесодержащих

компонентов, органических и комбинированных связующих веществ);

- создание необходимой интенсивности затвердевания и прочности брикета при сушке или охлаждении.

В статье в основном рассказано об использовании в качестве связующего компонента преимущественно вязких отходов нефтепродуктов (нефтешламы, отработанные нефтепродукты, нефтесодержащие шламы очистных сооружений, донные отложения мазутных резервуаров и т. п.). Однако в случае их отсутствия (окончания) в процессе создания таких производств тот же эффект соединения частиц сыпучих отходов на разработанной установке достигается за счет использования иных связующих добавок (органического, неорганического происхождения, полученные комбинированными соединениями, в том числе из отходов).

Разработанные к настоящему времени многокомпонентные составы твердого MSF-топлива с применением различных отходов обеспечивают полное сжигание используемых в нем горючих материалов с выделением заданных теплотехнических характеристик. При этом удовлетворяются требования транспортировки и хра-

нения, обеспечивая сохранение свойств и качественных характеристик горючей массы [2].

Особенности подготовки и применения компонентов

На примере использования отходов деревообрабатывающей промышленности (опилки, стружка, пыль) и различных нефтесодержащих производственных отходов рассмотрим технологический процесс брикетирования многокомпонентных составов, включающий следующие этапы: подготовку отходов, измельчение материала до гранулометрического размера частиц (0,1–8,0 мм), дозирование компонентов и перемешивание, брикетирование массы, сушку в естественных условиях или сушильной камере.

Работа технологического оборудования в основном комплексе опытно-промышленной установки выполняется в такой последовательности: из расходного бункера-смесителя предварительно подготовленная смесь поступает в шнековый пресс, где уплотняется, затем перемещается через коническую формирующую насадку, где при давлении 20 МПа брикетируется и передается на сушку. Получение многокомпонентного топлива с необходимыми энергетическими характеристиками и оптимальными экологическими выбросами при сжигании топлива характеризуется соблюдением следующих соотношений используемых сырьевых и связующих компонентов:

- основное сырье – отходы деревообработки и/или сельскохозяйственные отходы (солома, ковра и т. п.) массовой долей не менее 70 %;
- связующее сырье в виде углеводородсодержащих вязких отходов (нефтешламы, отработанные нефтепродукты, донные отложения мазутных резервуаров и т. п.) – не более 30 %;
- добавки (при необходимости) – промасленная ветошь или сорбенты, насыщенные нефтепродуктами (материал сорбента – торф, мох, лигнин и т. п.) – не более 5 % [3].

Изменяя насадку матрицы-фильтры на установке, можно производить гранулированное топливо диаметром от 14 мм, кусковое топливо различных типоразмеров (как правило, от 25 мм) и брикеты разных типоразмеров (50–150, 50–600 мм) и форм (круглые, квадратные, прямоугольные, шестигранные, квадратные со скругленными краями и т. п.) [4].

В составе линии подготовки к брикетированию при необходимости применяется устройство электрогидравлической обработки (ЭГО) нефте-

содержащих отходов, позволяющее уменьшать количество серы в используемых отходах, что в целом дает возможность регулировать и обеспечивать допустимое содержание серы в физико-химическом составе производимого топлива на экологически необходимом уровне. Внешний вид установки, преобразующей энергию в импульсы тока микросекундной длительности для электрогидравлической обработки нефтесодержащих отходов, представлен на рис. 3.

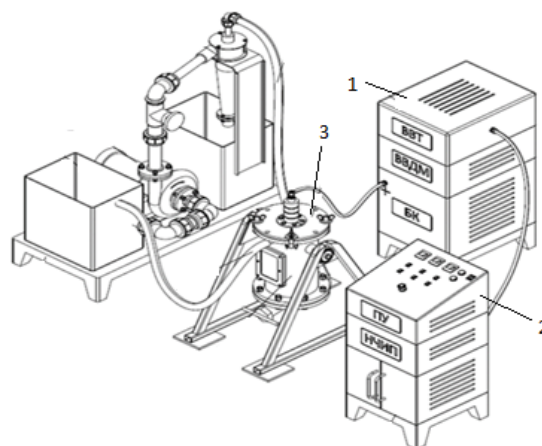


Рис. 3. Схема устройства электрогидравлической установки для обработки нефтесодержащих отходов

Fig. 3. Scheme of an electro-hydraulic unit for processing oil-containing waste

Сущность работы устройства подготовки (при необходимости) углеводородсодержащих отходов состоит в том, что во влажной среде нефтесодержащих отходов создается сверхвысокое импульсное гидравлическое давление, а гидродинамические эффекты приводят к появлению ударных волн со звуковой и сверхзвуковой скоростями, которые формирует блок высоковольтного трансформатора 1, имеющего в составе высоковольтный диодный мост и батареи накопительных конденсаторов, управляемые с помощью блока пульта управления 2, оборудованного низковольтной частью источника питания. В реакторе 3 в результате специально сформированного импульсного (искрового, кистевого) высоковольтного электрического разряда между электродами создаются мощные импульсно возникающие кавитационные процессы, которые в зависимости от регулируемой оператором продолжительности, частоты и мощности разрядов запускают механические резонансные явления с амплитудами, позволяющими осуществлять взаимное разделение (деэмульгирование, диспергирование и т. п.) или эмульгирование материалов. При этом электрогидравлическая обработка отходов сопровождается широким

комплексом физических и химических явлений (инфра- и ультразвуковые излучения, интенсивные импульсные световые, тепловые, ультрафиолетовые излучения; многократная ионизация соединений и элементов, содержащихся в жидкости), позволяющих, например, уменьшать содержание серы и других химических соединений, влияющих на формирование выбросов при сжигании топлива с использованием нефтесодержащих компонентов [5]. Подготовленная смесь характеризуется влажностью не менее 42–45 % и долей нефтесодержащих веществ в смеси, определяемой в зависимости от используемых видов углеводородсодержащих отходов, а также с учетом необходимых теплотехнических свойств.

На рис. 4 представлена зависимость производительности P от влажности w и доли нефтешламов x согласно полученному уравнению регрессии в виде поверхности в трехмерной системе координат [6].

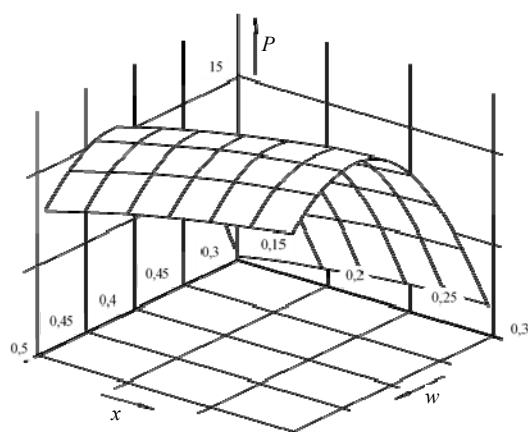


Рис. 4. Зависимость производительности от влажности и доли нефтешламов

Fig. 4. Dependence of productivity on humidity and proportion of oil sludge

В процессе брикетирования на выходе из рабочего канала матрицы температура брикета повышается на величину $\Delta T = (10-15)^\circ\text{C}$, что, с одной стороны, обеспечивает и с запасом удовлетворяет требованиям пожаробезопасности применения нефтесодержащих отходов. С другой – небольшое повышение температуры способствует ускорению сушки сформованных брикетов, а использование нефтесодержащих отходов в составе топлива допускается к применению Министерством природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь согласно ТКП 17.11-01-2009 [7].

Влажность смеси в разработанной установке играет важную роль и, как видно из полу-

ченной зависимости, она в первую очередь влияет на производительность работы брикетировочного оборудования. Так, при влажности менее 30 % брикетированная масса не формируется при рабочих параметрах шнекового пресса. По мере роста влажности смеси производительность сначала растет, достигает максимума, а затем уменьшается. Причем при влажности более 60 % формируемая масса становится пастообразной, что не позволяет получать полноценный удерживающий заданную форму каркас брикета, пригодный для транспортировки и сушки [8].

Многообразие физико-химических и структурно-реологических процессов, которые протекают в период формирования структурного каркаса брикета, обусловлено большим количеством факторов. Влияние каждого из них оказывает воздействие на интенсивность адгезионных взаимодействий как во время подготовки смеси, так и при ее брикетировании [9, 10].

Исследование эксплуатационных характеристик

Среди основных факторов, оказывающих существенное структурообразующее действие, как показали проведенные исследования различных составов многокомпонентного твердого топлива, прежде всего, следует учитывать гранулометрический состав, активность поверхности, влажность брикетированных компонентов, условия и пропорции смешивания компонентов, давление брикетирования. Гранулометрический состав определяется суммарной поверхностью соприкосновения брикетированных частиц, числом и величиной пустот в структурном каркасе топлива, содержанием остроугольных частиц, рельефом их поверхности и обязательным наличием в составе пылевидных частиц [6].

Также стоит отметить, что непосредственное использование нефтесодержащих отходов выполняет ряд функций, в первую очередь является связующим компонентом при производстве этого вида топлива, во вторую – увеличивает до необходимого (задаваемого) уровня теплотехнические характеристики получаемого топлива, а при высыхании нефтесодержащие отходы обеспечивают гидрофобными свойствами получаемое топливо. На рис. 5 представлены исследования гидрофобных свойств путем полного погружения в воду различных видов твердого топлива.

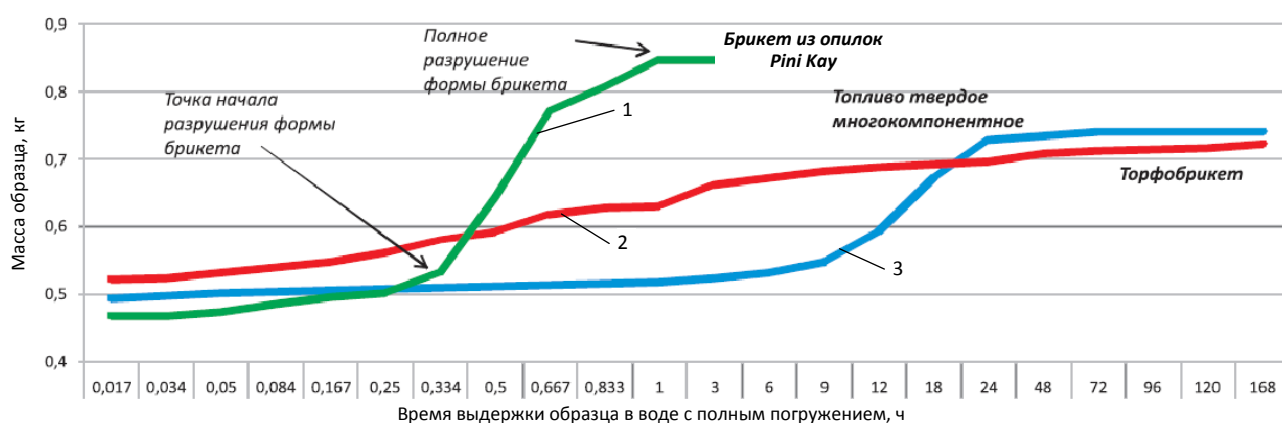


Рис. 5. График изменения массы различных видов топлива, погруженных в воду:
1 – брикеты из опилок Pini Kay; 2 – торфобрикет; 3 – многокомпонентное твердое топливо MSF

Fig. 5. Graph of changes in the mass of various fuels submerged in water:
1 – sawdust briquettes Pini Kay; 2 – peat briquette; 3 – multicomponent solid fuel

Использование нефтесодержащих горючих отходов в технологиях брикетирования решает ряд комплексных задач, в том числе вопросы их комбинированной утилизации, а также складирования и транспортировки продукции без пыления и проливов.

Проведенные исследования характеристик составов топлива и инструментальные замеры выбросов вредных веществ при сжигании топлив с использованием наиболее распространенных видов отходов, образующихся на предприятиях промышленности, объективно показывают перспективность внедрения технологий получения MSF-топлива.

Актуальность решения проблем переработки горючих отходов с использованием доступных технологий подтверждается возросшим интересом к разработанной технологии и технологическому оборудованию не только в Республике Беларусь, но и во многих странах Европы и Азии, где проведен ряд экспериментальных и теоретических исследований [11].

ВЫВОДЫ

1. Технология изготовления многокомпонентного твердого топлива методом брикетирования дает возможность применять широкий спектр малоиспользуемых горючих отходов в качестве твердого топлива с возможностью их сжигания в различных теплогенерирующих устройствах.

2. Разработанная технология позволяет в промышленных объемах производить много-

компонентное твердое топливо с заданными техническими и энергетическими характеристиками, что в целом способствует улучшению экологической обстановки.

ЛИТЕРАТУРА

1. Беларусь 2030: государство, бизнес, наука, образование: матер. 2-й Междунар. науч. конф., 29 мая 2015 г., г. Минск / Белорусский государственный университет. Минск: Право и экономика, 2015. 146 с.
2. Хрусталева, Б. М. Многокомпонентное твердое топливо на основе малоиспользуемых отходов / Б. М. Хрусталева, А. Н. Пехота // Энергетика и ТЭК. 2011. № 11. С. 16–19.
3. Хрусталева, Б. М. Энергоэффективное многокомпонентное твердое топливо на основе малоиспользуемых отходов / Б. М. Хрусталева, А. Н. Пехота // Наука – образованию, производству, экономике: материалы 11 Междунар. науч.-техн. конф.: в 4-х т. Минск, БНТУ, 2013. Т. 1. С. 146.
4. Хрусталева, Б. М. Композиционное твердое топливо на основе вторичных горючих отходов / Б. М. Хрусталева, А. Н. Пехота // Энергоэффективность. 2016. № 4. С. 18–22.
5. Юткин, Л. А. Электрогидравлический эффект и его применение в промышленности / Л. А. Юткин. Л.: Машиностроение, 1986. 253 с.
6. Хрусталева, Б. М. Технология эффективного использования углеводородсодержащих отходов в производстве многокомпонентного твердого топлива / Б. М. Хрусталева, А. Н. Пехота // Энергетика. Известия высших учебных заведений и энергетических объединений СНГ. 2016. Т. 59, № 2. С. 122–140.
7. Охрана окружающей среды и природопользование. Отходы. Правила использования углеводородсодержащих отходов в качестве топлива: ТКП 17.11-01-2009. Введ. 01.04.2009 (изм. 01.10.20103, 01.01.2013). Минск: РУП «Бел НИЦ «Экология», 2013. 28 с.

8. 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. Оpubл. 30.08.14.
9. Состав для брикетирования топлива многокомпонентного: пат. 18463 Респ. Беларусь МПК С 10 L 5/04, С 10 L 5/48 / А. Н. Пехота, Б. М. Хрусталеv. Оpubл. 30.08.14.
10. Состав для брикетирования топлива многокомпонентного: пат. 18130 Респ. Беларусь МПК С 10 L 5/44, С 10 L 5/48 / А. Н. Пехота, Б. М. Хрусталеv. Оpubл. 30.04.14.
11. Перспективные научно-технические разработки и инновационное развитие регионов: Каталог инновационных разработок – 2020 / Государственный комитет по науке и технологиям Республики Беларусь, Гомельский областной исполнительный комитет. Гомель: Центр научно-технической и деловой информации, 2020. С. 48–52.

Поступила 15.09.2020

Подписана в печать 20.11.2020

Опубликована онлайн 29.01.2021

REFERENCES

1. Belarusian State University (2015) *Belarus' 2030: Gosudarstvo, Biznes, Nauka, Obrazovanie: Mater. 2-i Mezhdunar. Nauch. Konf., 29 Maya 2015 g., g. Minsk* [Belarus in 2030: The State, Business, Science, Education: Mat. 2nd International Scientific Conference (May 29, 2015, Minsk)]. Minsk, Pravo i Ekonomika Publ. 146 (in Russian).
2. Khroustalev B. M., Pekhota A. N. (2011) Multicomponent Solid Fuel Based on Low-Utilized Waste. *Energetika i TEK* [Energy and Fuel and Energy Complex], (11), 16–19 (in Russian).
3. Khroustalev B. M., Pekhota A. N. (2013) Energy-Efficient Multicomponent Solid Fuel Based on Low-Used Waste. *Nauka – Obrazovaniyu, Proizvodstvu, Ekonomike: Materialy 11 Mezhdunar. Nauch.-Tekhn. Konf. T. 1* [Science to Education, Industry, Economics. Proceedings of 11th International Science and Technical Conference. Vol. 1]. Minsk, Belarusian National Technical University, 146 (in Russian).
4. Khroustalev B. M., Pekhota A. N. (2016) Composite Solid Fuel Based on Secondary Combustible Waste. *Energoeffektivnost'* [Energy Efficiency], (4), 18–22 (in Russian).
5. Yutkin L. A. (1986) *Electro-Hydraulic Effect and its Application in Industry*. Leningrad, Mashinostroenie Publ., 1986. 253 (in Russian).
6. Khroustalev B. M., Pekhota A. N. (2016) Technology for Efficient Usage of Hydrocarbon-Containing Waste in Production of Multicomponent Solid Fuel. *Energetika. Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii i Energeticheskikh Ob'edinenii SNG = Energetika. Proceedings of CIS Higher Education Institutions and Power Engineering Associations*, 59 (2), 122–140. <https://doi.org/10.21122/1029-7448-2016-59-2-122-140> (in Russian).
7. ТКР [Technical Code of Common Practice] 17.11-01–2009. *Environmental Protection and Nature Management. Waste. Rules for the Use of Hydrocarbon Waste as Fuel*. Minsk, Publishing House of RUE “Bel NITs “Ekologiya”, 2013. 28 (in Russian).
8. Pekhota A. N., Khroustalev B. M. (2014) *Method for Producing Multicomponent Solid Fuel*. Patent Republic of Belarus No 18408 (in Russian).
9. Pekhota A. N., Khroustalev B. M. (2014) *Composition for Briquetting Multicomponent Fuel*. Patent Republic of Belarus No 18463 (in Russian).
10. Pekhota A. N., Khroustalev B. M. (2014) *Composition for Briquetting Multi-Component Fuel*. Patent Republic of Belarus No 18130 (in Russian).
11. State Committee for Science and Technology of the Republic of Belarus, Gomel Regional Executive Committee (2020) *Promising Scientific and Technical Developments and Innovative Development of Regions: Catalog of Innovative Developments – 2020*. Gomel, Center for Scientific, Technical and Business Information, 48–52 (in Russian).

Received: 15.09.2020

Accepted: 20.11.2020

Published online: 29.01.2021