

DOI: 10.21122/1029-7448-2017-60-2-147-158

УДК 662.8.053.33; 662.8.053.2

Твердое топливо из углеводородсодержащих, древесных и сельскохозяйственных отходов для локальных систем теплоснабжения

Б. М. Хрусталеv¹⁾, А. Н. Пехота¹⁾

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

© Белорусский национальный технический университет, 2017
Belarusian National Technical University, 2017

Реферат. В Беларуси нефтеперерабатывающим и нефтедобывающим отраслям уделяется пристальное внимание. На фоне активного сохранения уровня переработки и объемов добычи нефти в нашей республике и странах Евразийского экономического союза происходит устойчивое образование углеводородсодержащих отходов, поэтому их переработка – актуальная задача, способная повысить конкурентоспособность производства, а их эффективное использование относится к важным экономическим и экологическим задачам для многих стран. Наиболее экономически оправданным способом использования углеводородсодержащих отходов является их переработка в энергоресурсы. В данном случае можно получить значительный энергетический и экономический эффект от совместного использования углеводородсодержащих, древесных, сельскохозяйственных и иных горючих отходов, улучшив при этом экологическую обстановку в местах складирования отходов и создавая твердое топливо с необходимыми энергетическими и физико-химическими свойствами. Комплексное решение проблемы переработки отходов позволяет использовать многие не нашедшие применения в других технологиях отходы в качестве энергоресурсов, производить альтернативное многокомпонентное топливо с составом, обеспечивающим экологические и энергетические требования для локальных систем теплоснабжения. Кроме того, внедрение такой технологии сделает возможным сокращение энергозатрат предприятий различного назначения, потребляющих топливо, увеличит долю местных видов топлива в энергетическом балансе конкретного региона.

Ключевые слова: углеводородсодержащие отходы, многокомпонентное твердое топливо, практическая применимость

Для цитирования: Хрусталеv, Б. М. Твердое топливо из углеводородсодержащих, древесных и сельскохозяйственных отходов для локальных систем теплоснабжения / Б. М. Хрусталеv, А. Н. Пехота // *Энергетика. Изв. высш. учеб. заведений и энерг. объединений СНГ*. 2017. Т. 60. № 2. С. 147–158. DOI: 10.21122/1029-7448-2017-60-2-147-158

Solid Fuel of Hydrocarbon, Wood and Agricultural Waste for Local Heat Supply Systems

В. М. Khroustalev¹⁾, А. N. Pekhota¹⁾

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

Abstract. In Belarus oil refining and oil producing industries are paid close attention. On the background of the active maintaining the level of oil processing and volume of oil extraction

Адрес для переписки

Хрусталеv Борис Михайлович
Белорусский национальный технический университет
просп. Независимости, 65,
220013, г. Минск, Республика Беларусь
Тел.: +375 17 292-77-52
rector@bntu.by

Address for correspondence

Khroustalev Boris M.
Belarusian National Technical University
65 Nezavisimosty Ave.,
220013, Minsk, Republic of Belarus
Tel.: +375 17 292-77-52
rector@bntu.by

Abstract. In Belarus oil refining and oil producing industries are paid close attention. On the background of the active maintaining the level of oil processing and volume of oil extraction in our country and in the countries of the Eurasian Economic Union there is a steady formation of hydrocarbon-containing waste; therefore recycling of the latter is an urgent task to improve the competitiveness of production. The most cost-effective way of using hydrocarbon waste is the conversion of it into power resources. In this case it is possible to obtain significant power-saving and economic effect of the combined use of a hydrocarbon, wood, agricultural and other combustible waste, meanwhile improving the ecological situation at the sites of waste storage and creating a solid fuel with the necessary energy and specified physical-and-chemical properties. A comprehensive solution of a recycling problem makes it possible to use as energy resources a lot of waste that has not found application in other technologies, to produce alternative multi-component fuel which structure meets environmental and energy requirement for local heating systems. In addition, the implementation of such technology will make it possible to reduce power consumption of enterprises of various kinds that consume fuel and will also increase the share of local fuels in the energy balance of a particular region.

Keywords: hydrocarbon wastes, multicomponent solid fuel, practical applicability

For citation: Khroustalev B. M., Pekhota A. N. (2017) Solid Fuel of Hydrocarbon, Wood and Agricultural Waste for Local Heat Supply Systems. *Energetika. Proc. CIS Higher Educ. Inst. and Power Eng. Assoc.* 60 (2), 147–158. DOI: 10.21122/1029-7448-2017-60-2-147-158 (in Russian)

В настоящее время остро стоит задача экологической безопасности и бережного отношения к природе, и в первую очередь к использованию нефтесодержащих ресурсов, имеющих огромное значение в системе жизнеобеспечения. Руководство страны пристальное внимание уделяет нефтеперерабатывающим и нефтедобывающим отраслям. На фоне активного сохранения уровня переработки и объемов добычи нефти в Беларуси и странах Евразийского экономического союза происходит устойчивое образование углеводородсодержащих отходов, при этом нужно иметь в виду, что сфера образования таких отходов очень велика и не ограничивается только упомянутыми отраслями. Поэтому переработка нефтесодержащих (углеводородсодержащих) отходов – один из актуальных вопросов, способных повысить конкурентоспособность производства, а их эффективное использование относится к важным экономическим и экологическим задачам для многих стран.

С целью сокращения негативного воздействия отходов на окружающую среду и улучшения энергоресурсообеспечения экономики необходимо создание ресурсосберегающих, экологически чистых технологий, а на их основе – производств по переработке образующихся отходов для получения сортовых товарных продуктов. Различный диапазон составов образующихся отходов требует разработки экономически целесообразных и экологически эффективных технологий для решения проблемы их комплексного использования. При этом сложность рассматриваемой проблемы обуславливается противоречиями между возрастающим объемом промышленных отходов производства и малоэффективными или «неподъемными» по стоимости и срокам окупаемости технологиями.

Переработка углеводородсодержащих отходов затруднена их составом, в основном представленным смесями, насыщенными углеводородсодержащими соединениями, из которых состоят нефтепродукты, а в отхо-

дах присутствуют механические примеси и вода в различном состоянии. При этом они обладают значительным энергетическим потенциалом вследствие высокого содержания углерода (86–88 %) и водорода (10–14 %).

Одним из экономически оправданных способов использования углеводородсодержащих отходов является, по мнению авторов, их переработка в энергоресурсы. Именно поэтому в последние годы наряду с природными видами топлива находят применение искусственные его виды, получение которых связано с переработкой накопленных и образующихся отходов (нефте содержащих, сельскохозяйственных, древесных, угольных, торфяных и т. п.). Такой подход позволяет эффективно решать проблемы экономии традиционных видов энергоресурсов и увеличивать долю местных видов топлива, используя имеющиеся производственные отходы, образующиеся в процессе хозяйственно-экономической деятельности различных предприятий.

Общая классификация искусственных видов топлива представлена на рис. 1.

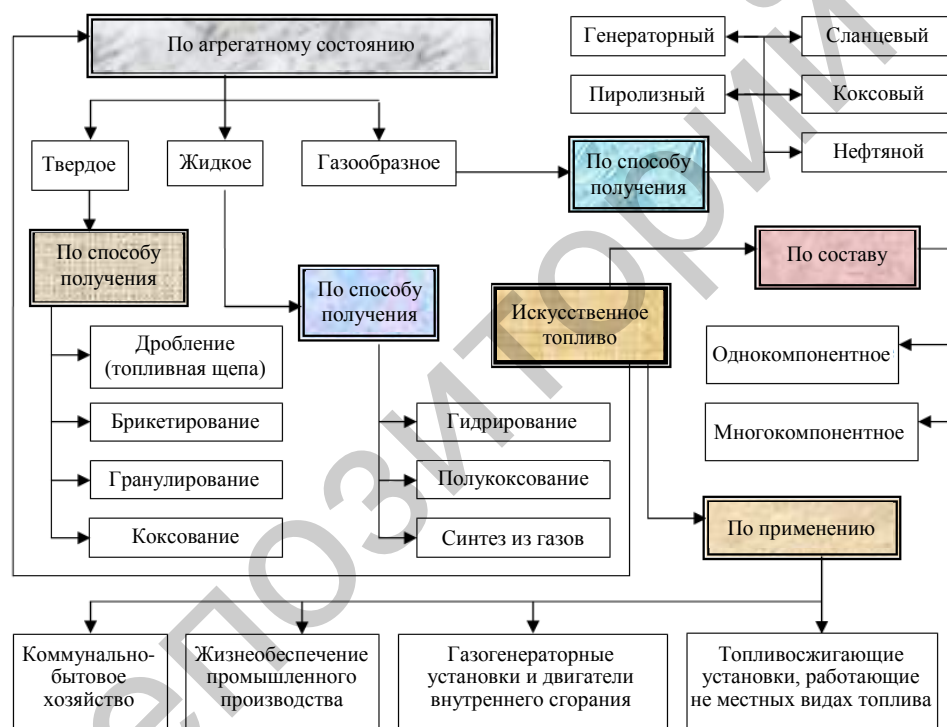


Рис. 1. Общая классификация «искусственных» видов топлива

Fig. 1. A general classification of “synthetic” fuels

Как видно из рис. 1, не все энергетические ресурсы и не всегда потребляются в их непосредственном виде. В последнее время некоторые виды топлива, прежде чем поступить к потребителю, подвергаются «облагораживанию» (обогащению), переработке и преобразованию. Например, с развитием науки, техники и технологий наравне с традиционными видами

печного топлива, такими как дрова, газ, мазут, в промышленной энергетике и в локальных системах теплоснабжения активно применяются различные виды древесного топлива в виде щепы, гранулированного и брикетированного топлива, которые могут производиться из разных отходов сельскохозяйственного и деревоперерабатывающего производства, лесозаготовок, древесно-кустарниковой растительности, не нашедших технологического применения по различным причинам (окисление, изменение внешнего вида, засорение механическими примесями, нефтепродуктами и т. п.).

Основная концепция предлагаемого использования нефтесодержащих отходов заключается в добавлении в состав топлива определенной экологически безопасной пропорции углеводородсодержащих отходов при производстве сортового твердого топлива на основе древесно-растительного сырья, вследствие чего достигается увеличение приемлемых и необходимых энергетических показателей теплоты сгорания, при которых потребительские характеристики топлива соответствуют требованиям стандартов. Более того, разработанные технологические решения позволяют при производстве твердого топлива применять углеводородсодержащие отходы в качестве гидрофобизатора, а вязкие отходы этой группы – в качестве связующего компонента. К тому же в составе топлива могут быть использованы опилки, ветошь, фильтрующие элементы фильтров различного назначения. Полученное предложенным способом топливо названо авторами топливом твердым многокомпонентным (ТТМ, или англ. multicomponent solid fuel – MSF) [1].

Исследования в обозначенных направлениях проведены в Белорусском национальном техническом университете кафедрами «Теплогазоснабжение и вентиляция» и «Промышленная теплоэнергетика». Одним из результатов является разработка технологии производства твердого топлива на основе смеси древесных или сельскохозяйственных и вязких нефтесодержащих отходов, позволяющей применять его без переоборудования в локальных системах теплоснабжения, работающих на твердом топливе. Полученное ТТМ обеспечивает полное сжигание используемых в нем горючих материалов с выделением заданных теплотехнических характеристик, при этом оно удовлетворяет требованиям транспортировки и хранения, обеспечивая сохранение свойств и качественных характеристик горючей массы [2].

В основе исследований – трансформирование подходов, изучение закономерностей процессов и усовершенствование технологических схем производства твердого топлива методом влажного брикетирования различных многокомпонентных составов. Например, определены оптимальные параметры процесса брикетирования смеси древесных отходов и нефтешламов, установлено и найдено уравнение регрессии, позволяющее при получении разработанного топлива определять производительность пресса при формировании брикетов в диапазоне изменения влажности прессуемой смеси от 30 до 50 %. Так, она достигает максимального значения при влажности формуемой смеси ($43,4 \pm 0,9$) % в диапазоне изменения доли нефтешламов от 10 до 30 %.

Технология получения ТТМ базируется на брикетировании отходов с использованием в качестве основного компонента сыпучих отходов био-

массы (древесных, сельскохозяйственных, лесозаготовительных отходов, лигнина, сапропеля и т. п.) или некондиционных горючих минеральных ресурсов (угля, торфа и т. п.), которые смешиваются со связующим компонентом. В качестве связующего компонента предлагается использовать преимущественно вязкие отходы нефтепродуктов (нефтешламы, отработанные нефтепродукты, донные отложения мазутных резервуаров и т. п.). Однако в случае их отсутствия (окончания) в процессе производства тот же эффект соединения частиц сыпучих отходов на описываемой установке достигается за счет применения иных связующих добавок (минеральных, полимерных и пр.), в том числе из отходов.

Разработанная и запатентованная технология и составы топлива [3–5] позволяют брикетировать ТТМ с применением различных промышленных, сельскохозяйственных, деревообрабатывающих отходов в оптимальных соотношениях. Так, получение ТТМ с использованием отходов деревообрабатывающей промышленности (опилки, стружка, пыль) дает возможность в качестве наполнителей добавлять угольную пыль и торф. Дополнительно в качестве армирующего волокна допускается использование измельченной ветоши, волокнистых сорбентов, насыщенных нефтепродуктами, утилизация которых в других технологиях крайне затруднена. При этом не исключается возможность применения в качестве наполнителей или основного компонента различных отходов сельскохозяйственного производства, имеющих брикетируемую волокнистую структуру (солома, измельченные стебли растений и листья, отходы льна и шерсти, кожевенные отходы и др.).

В качестве иллюстрации на рис. 2 схематично приведена информация, дающая представление об основном комплексе технологического оборудования опытно-промышленной установки, которое позволяет обеспечивать технологический процесс получения ТТМ, включающий следующие этапы: подготовку отходов, измельчение (0,1–5,0 мм), дозирование и перемешивание компонентов, прессование массы, сушку в естественных условиях или сушильной камере.

Работа установки выполняется в такой последовательности: предварительно подготовленная смесь из расходного бункера-смесителя поступает в шнековый пресс, где уплотняется, затем перемещается через коническую формующую насадку шнекового пресса при давлении 20 МПа с образованием внутреннего сквозного продольного отверстия в формируемом брикете. Для получения многокомпонентного топлива с оптимальными экологическими выбросами при его сжигании необходимо соблюдать следующие соотношения используемых отходов:

- основное сырье – частицы размером до 5 мм (отходы деревообработки, сельскохозяйственные отходы и т. п.) – не менее 70 % (допускается присутствие мелких частиц размером до 10 мм, объемом не более 20 %);
- связующее сырье в виде углеводородсодержащих вязких отходов (нефтешламы, отработанные нефтепродукты, донные отложения нефтемазутных 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 % [6].

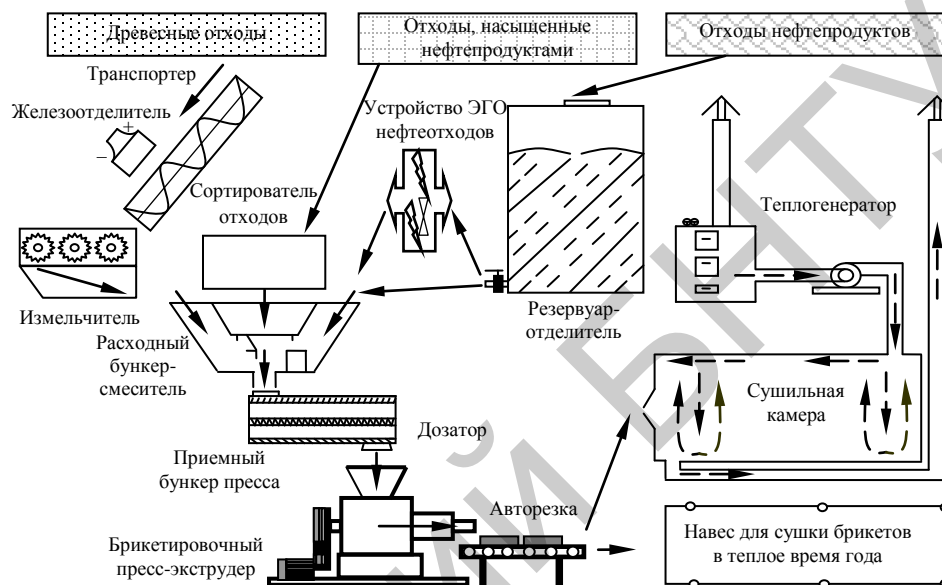


Рис. 2. Схема промышленной установки производства топлива твердого многокомпонентного

Fig. 2. The scheme of industrial plant for manufacturing multi-component solid fuel

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 требуемых теплотехнических свойств. При необходимости в установке применяется устройство электрогидравлической обработки (ЭГО) нефтесодержащих отходов, позволяющее уменьшать содержание серы в 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. Сущность работы этого устройства состоит в том, что во влажной среде нефтесодержащих отходов возникает высокое давление в результате специально сформированного импульсного (искрового, кистевого) высоковольтного электрического разряда между электродами, через которые происходят разряды. Вокруг зоны образования разрядов возникают сверхвысокие гидравлические давления, способные совершать полезную механическую работу и сопровождающиеся комплексом физических и химических явлений. В соответствии с ранее проведенными исследованиями давление этих разрядов достигает 300 МН/м^2 в рабочей среде (обычно в обводненной смеси или высоковлажной среде).

Это давление используется для механического воздействия на материал при его подготовке, что позволяет, задавая определенные параметры разрядов, производить обработку, очистку, эмульгацию, деэмульгацию, размол, разделение и др. Энергия, необходимая для электрического разряда, накапливается в конденсаторах установки емкостью от 10 до 1500 мкФ. В применяемой установке амплитуда ударной волны на расстоянии 10 мм от рабочего органа достигает 50–190 МПа с длительностью разряда не более 200 мкс.



Рис. 3. Внешний вид установки, преобразующей энергию в импульсы тока микросекундной длительности для электрогидравлической обработки нефтесодержащих отходов

Fig. 3. Outward appearance of the apparatus that convert the energy into current pulses of microsecond duration for electrohydraulic processing of oily waste

Эксперименты на различных поступающих на переработку нефтесодержащих отходах (нефть, нефтешламы, нефтесодержащий шлам очистных сооружений и т. п.) показали, что при электрогидравлической обработке интенсивно отделяются разного рода вредные примеси, и прежде всего сера. Сернистые соединения активно удаляются из обрабатываемого отхода (в зависимости от типа и вида поступающих отходов) либо в виде летучих соединений – сероводорода, либо выпадают в осадок, ранее находившийся в виде несорбируемого соединения, после электрогидравлической обработки переходящего в сорбируемое. Исследованиями, проведенными ранее другими учеными, отмечено, что более активное связывание серы наблюдается в том случае, если в состав нефтесодержащих отходов входил определенный реагент, подвергающийся электрогидравлической обработке вместе с ней [7].

Отличием разработанной технологии влажного брикетирования смеси от технологии брикетирования, например брикетов RUF, Pini Kay, при которой качественные показатели брикета достигаются только за счет спекания имеющихся в прессуемой массе смол и лигнина, является то, что в разработанной технологии производства ТТМ пресс уплотняет влажную массу смеси нефтешламовых отходов при определенной влажности.

Данные изменения геометрических размеров влажного топлива различной формы, спрессованного при влажности 42–45 % и затем высушенного, пред-

ставлены на рис. 4. Присутствующие в формуемой массе нефтесодержащие отходы выступают в качестве связующего, выполняют функцию смазки, что способствует безостановочному (непрерывному) прохождению брикета внутри рабочего канала, образованного конической втулкой и матрицей-фильерой, при этом они придают формуемой массе пластичность, гидрофобные свойства и, в конечном итоге, повышают теплоту сгорания топлива.

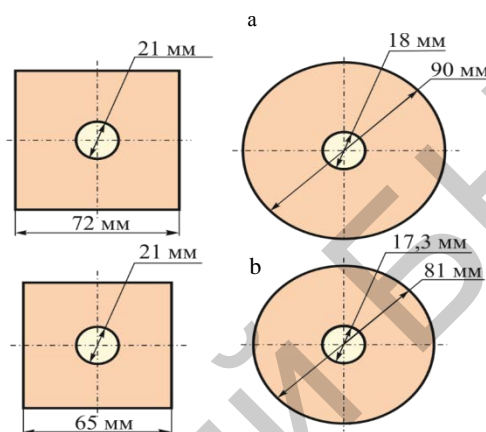


Рис. 4. Изменение размеров многокомпонентного топлива различной формы:
а – влажные брикеты; б – брикеты после сушки

Fig. 4. Resizing of multi-component fuel of various forms:
a – wet briquettes; b – briquettes after drying

Изменяя насадку матрицы-фильеры на установке, можно производить гранулированное топливо диаметром от 14 мм, кусковое топливо разных типоразмеров (как правило, от 25 мм) и брикеты различной формы и типоразмеров (диаметром 50–120 мм) [8].

Зависимость производительности P от влажности w и доли нефтешламов x , согласно полученному уравнению регрессии, в виде поверхности в трехмерной системе координат представлена на рис. 5 [1].

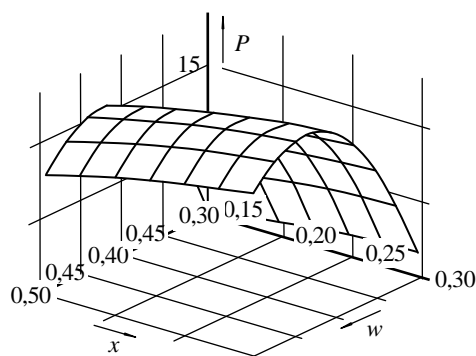


Рис. 5. Зависимость производительности P от влажности w
и доли нефтешламов x

Fig. 5. The dependency of performance P on the moisture content w
and on the proportion of oil sludge x

На выходе из рабочего канала пресса температура брикета ΔT повышается на 10–15 °С, что обеспечивает и с запасом удовлетворяет требованиям пожаробезопасности. В то же время небольшое повышение температуры способствует ускорению сушки сформованных брикетов.

Влажность смеси в разработанной установке играет важную роль и в первую очередь влияет на производительность. Так, при влажности менее 30 % прессуемая масса не формуется при рабочих параметрах пресса. По мере роста влажности смеси производительность пресса сначала растет, достигает максимума, а затем уменьшается. Причем при влажности более 60 % формуемая масса становится пастообразной, что не позволяет получать полноценный удерживающий заданную форму брикет, пригодный для транспортировки и сушки.

Многообразие физико-химических и структурно-реологических процессов, протекающих в период формирования структурного каркаса брикета, обусловлено множеством факторов. Влияние каждого из них оказывает воздействие на интенсивность адгезионных взаимодействий как во время подготовки брикетной смеси, так и при ее прессовании.

Среди основных факторов, оказывающих существенное структурообразующее действие, прежде всего следует учитывать гранулометрический состав, активность поверхности, влажность прессуемых компонентов, условия и пропорции смешивания компонентов, давление прессования. Гранулометрический состав определяется суммарной поверхностью соприкосновения прессуемых частичек, числом и величиной пустот в структурном каркасе топлива, содержанием остроугольных частиц, рельефом их поверхности и обязательным наличием пылевидных частиц [1].

Работы ученых в направлении широкого использования разнородных многокомпонентных составов не прекращаются и достигли уровня, позволяющего в процессе подготовки многокомпонентных смесей определять влияние доли нефтешламов в брикете на построение модели распространения выбросов при сжигании такого топлива из одиночного источника с целью установления величины доли нефтешламов, которая учитывает экологические требования. Зависимость безразмерной приземной концентрации q от доли древесных отходов в брикете x для оксидов азота представлена на рис. 6. Особенностью графика рис. 6 является наличие у кривой $q(x)$ минимума максимальной безразмерной приземной концентрации вредных выбросов.

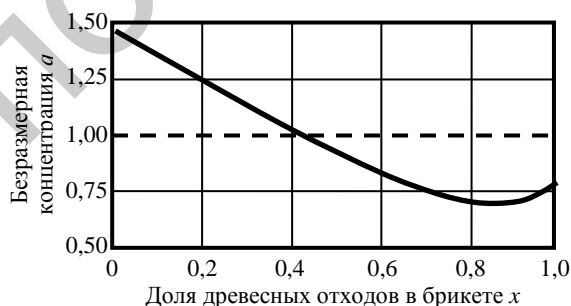


Рис. 6. Зависимость безразмерной концентрации q для NO_x от доли древесных отходов в брикете x

Fig. 6. The dependence of dimensionless concentration q for NO_x on the share of wood waste briquette x

При получении ТТМ с использованием нефтесодержащих отходов последние выполняют ряд функций: являются связующим компонентом при производстве этого вида топлива; увеличивают до необходимого (задаваемого) уровня теплотехнические характеристики получаемого топлива, а при высыхании обеспечивают гидрофобными свойствами получаемое топливо. Результаты исследования гидрофобных свойств твердого топлива путем полного погружения в воду различных его видов представлены на рис. 7.

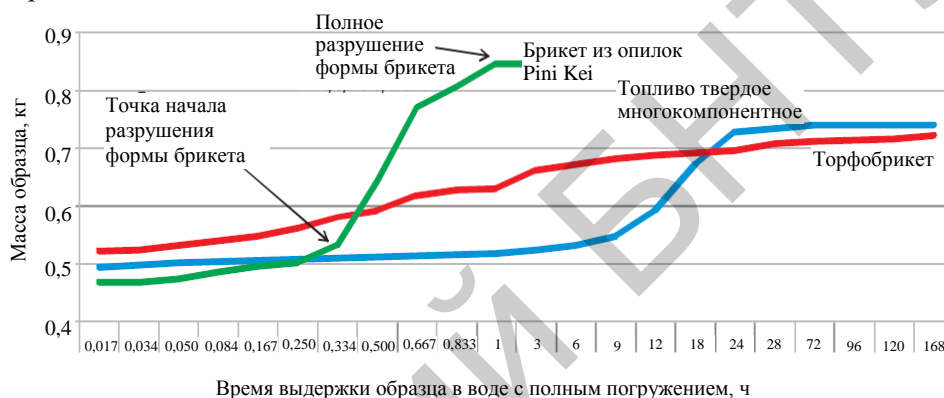


Рис. 7. Изменение массы различных видов твердого топлива, погруженного в воду

Fig. 7. The alteration of the mass of different types of submerged solid fuel

Применение нефтесодержащих отходов в технологиях брикетирования горючих сыпучих отходов в виде спрессованных брикетов решает ряд комплексных задач (комбинированная утилизация различных видов отходов, складирование и транспортировка продукции без пыления и проливов). Научная новизна данной технологии состоит не только в разработке установки, технологического процесса производства и оптимальных составов топлива, но и в получении математической модели, позволяющей с учетом физико-химического состава используемых компонентов, особенностей энергоустановки, применяемой впоследствии для сжигания произведенного топлива, рассчитать оптимальное с энергетической и экологической точек зрения соотношение компонентного состава. Сравнительные данные по теплоте сгорания различных видов топлива представлены в табл. 1.

Таблица 1

Сравнение теплоты сгорания различных видов топлива
Comparison of the heat of combustion of various fuels

Теплота сгорания, МДж/кг, для топлива						
Топливо твердое многокомпонентное	Торф	Бурый уголь	Антрацит	Древесина	Нефть	Мазут
18,0–21,0	8,0–21,0	19,3–31,0	34,3	12,5	42,0	40,3–41,3

Возможность использования топлива твердого многокомпонентного, произведенного по ТУ ВУ 490319372.001–2005 «Топливо твердое многокомпонентное», в соответствии с назначением пригодности для сжигания

в бытовых топках, котлах и промышленных котельных согласована с Министерством природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь и Госстандартом Республики Беларусь. Разработанная передвижная установка марки УПНДО-0,35 прошла регистрацию в реестре Минприроды (РУП «Бел НИЦ «Экология») под реестровым номером 2287.

Себестоимость производства в соответствии с технико-экономическими характеристиками полученного твердого топлива «Марки 4» с использованием смеси нефтепродуктов отработанных и древесных отходов составляет 25,5 дол. США. Отпускная цена твердого топлива, определенная на 5 % ниже стоимости одной тонны дров в поленнице (кругляк), – 31,4 дол. США. Окупаемость установки – 28–30 мес. (в зависимости от марок выпускаемого топлива, при двухсменном режиме работы и с учетом того, что монтаж установки производится в существующем здании).

Дополнительное экономическое преимущество и социальное значение производства топлива твердого многокомпонентного определяются при изучении рынка утилизации нефтесодержащих отходов. Так, в настоящее время на этом рынке принципиально изменяются взаимоотношения предприятий, на которых образуются отходы, с предприятиями, их утилизирующими и перерабатывающими, выражающиеся в необходимости компенсации затрат на переработку нефтесодержащих отходов.

Таким образом, за счет компенсации стоимости производства твердого топлива на основе смеси древесно-растительных и вязких нефтесодержащих отходов собственником этих отходов стоимость готовой продукции может существенно уменьшиться или полностью компенсироваться. При этом топливо с «нулевой» ценой может использоваться на социальных объектах в целях частичного сокращения расходов государства на их содержание.

Такое комплексное решение проблемы переработки отходов позволяет применять малоиспользуемые ресурсы (отходы), не потребляемые в других технологиях в качестве энергоресурсов, производить твердое топливо с многокомпонентным составом, обеспечивающим экологические и энергетические требования котельной. Внедрение разработанной технологии и составов топлива даст возможность сократить энергозатраты предприятий, потребляющих топливо в локальных системах теплоснабжения, увеличить долю местных видов топлива в энергетическом балансе региона, а также улучшить экологическую обстановку за счет снижения объемов отходов производства и обеспечить экономию природных ресурсов.

ВЫВОДЫ

1. Накопленный исследовательский и производственный опыт переработки нефтесодержащих отходов доказывает перспективность данного направления. В этом случае можно получить значительный энергетический и экономический эффект от совместного использования углеводородсодержащих, древесных, сельскохозяйственных и иных горючих отходов, улучшив при этом экологическую обстановку в местах складирования отходов и создавая твердое топливо с необходимыми энергетическими и физико-химическими свойствами.

2. Комплексное решение проблемы переработки отходов позволяет использовать многие не нашедшие применения в других технологиях отходы

в качестве энергоресурсов, производить альтернативное многокомпонентное топливо с составом, обеспечивающим экологические и энергетические требования для локальных систем теплоснабжения. Кроме того, внедрение разработанной технологии даст возможность сократить энергозатраты предприятий различного назначения, потребляющих топливо, увеличить долю местных видов топлива в энергетическом балансе конкретного региона, а также улучшить экологическую обстановку за счет снижения объемов отходов производства и обеспечить экономию природных ресурсов в целом по республике.

ЛИТЕРАТУРА

1. Хрусталеv, Б. М. Технология эффективного использования углеводородсодержащих отходов в производстве многокомпонентного твердого топлива / Б. М. Хрусталеv, А. Н. Пехота // *Энергетика. Изв. высш. учеб. заведений и энерг. объединений СНГ*. 2016. Т. 59, № 2. С. 122–140. DOI: 10.21122/1029-7448-2016-59-2-122-140.
 2. Хрусталеv, Б. М. Многокомпонентное твердое топливо на основе малоиспользуемых отходов / Б. М. Хрусталеv, А. Н. Пехота // *Энергетика и ТЭК*. 2011. № 11. С. 16–19.
 3. Способ получения топлива твердого многокомпонентного: пат. 18408 Респ. Беларусь: МПК С10L 5/36, С10L 5/48, С10L 5/06 / А. Н. Пехота, Б. М. Хрусталеv; дата публ.: 30.08.2014.
 4. Состав для брикетирования топлива многокомпонентного: пат. 18463 Респ. Беларусь: МПК С10L 5/04, С10L 5/48/ А. Н. Пехота, Б. М. Хрусталеv; дата публ.: 30.08.2014.
 5. Состав для брикетирования топлива многокомпонентного: пат. 18130 Респ. Беларусь: МПК С10L 5/44, С10L 5/48 / А. Н. Пехота, Б. М. Хрусталеv; дата публ.: 30.04.2014.
 6. Хрусталеv, Б. М. Энергоэффективное многокомпонентное твердое топливо на основе малоиспользуемых отходов / Б. М. Хрусталеv, А. Н. Пехота // *Наука – образованию, производству, экономике: материалы 11-й междунар. науч.-техн. конф.: в 4 т. Т. 1*. Минск: БНТУ, 2013. С. 146.
 7. Юткин, Л. А. Электрогидравлический эффект и его применение в промышленности / Л. А. Юткин. Л.: Машиностроение, 1986. 253 с.
 8. Хрусталеv, Б. М. Композиционное твердое топливо на основе вторичных горючих отходов / Б. М. Хрусталеv, А. Н. Пехота // *Энергоэффективность*. 2016. № 4. С. 18–22.
- Поступила 30.11.2016 Подписана в печать 02.02.2017 Опубликована онлайн 07.03.2017

REFERENCES

1. Khroustalev B. M., Pekhota A. N. (2016) Technology for Efficient Usage of Hydrocarbon-Containing Waste in Production of Multi-Component Solid Fuel. *Energetika. Proc. CIS Higher Educ. Inst. and Power Eng. Assoc.*, 59 (2), 122–140 (in Russian). DOI: 10.21122/1029-7448-2016-59-2-122-140.
2. Khroustalev B. M., Pekhota A. N. (2011) Multicomponent Solid Fuel on the Basis of Underutilized Waste. *Energetika i TEK [Power Engineering and Fuel-and-Energy Complex]*, (11), 16–19 (in Russian).
3. Pekhota A. N., Khroustalev B. M. (2014) *A Method of Producing Multi-Component Solid Fuel*. Patent Republic of Belarus No 18408 (in Russian).
4. Pekhota A. N., Khroustalev B. M. (2014) *A Composition for Making Briquette of Multi-Component Fuel*. Patent Republic of Belarus No 18463 (in Russian).
5. Pekhota A. N., Khroustalev B. M. (2014) *A Composition for Making Briquette of Multi-Component Fuel*. Patent Republic of Belarus No 18130 (in Russian).
6. Khroustalev B. M., Pekhota A. N. (2013) Energy Efficient Multi-Component Solid Fuel on the Basis of Underutilized Waste. *Nauka – Obrazovaniuu, Proizvodstvu, Ekonomike. Materialy 11 Mezhdunarodnoi Nauchno-Tekhnicheskoi Konferentsii. 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).
7. Yutkin L. A. (1986) *Electrohydraulic Effect and its Application in Industry*. Leningrad, Mashinostroenie Publ. 253 (in Russian).
8. Khroustalev B. M., Pekhota A. N. (2016) Composite Solid Propellant Based on Secondary Combustible Waste. *Energoeffektivnost [Energy Efficiency]*, (4), 18–22 (in Russian).

Received: 30 November 2016 Accepted: 2 February 2017 Published online: 7 March 2017