

DOI 10.15593/2409-5125/2018.02.03

УДК 504.064.47: 662.8.053.3

О.Н. Калинихин¹, Д.Э. Синенко²¹Донецкий национальный технический университет,²Донбасская национальная академия строительства и архитектуры

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОГО СВЯЗУЮЩЕГО ТОПЛИВНОЙ КОМПОЗИЦИИ НА ОСНОВЕ КОМПОНЕНТОВ ТВЕРДЫХ БЫТОВЫХ ОТХОДОВ И ОТХОДОВ КОКСОХИМИЧЕСКИХ ЗАВОДОВ

Несмотря на все более возрастающую роль комплексной биотермической переработки твердых бытовых отходов (ТБО) в промышленно развитых странах, по-прежнему актуальными остаются методы, направленные на получение вторичных топлив из отдельных компонентов ТБО, Refuse Derived Fuel (RDF). Сжигание такого рода топлив в теплотехнических процессах имеет несколько преимуществ, таких как экономия невозобновляемых топливных ресурсов, отсутствие противоречий с проектами по раздельной сортировке ТБО, высокая гибкость технологии процесса переработки, позволяющая производить экономическую и экологическую корректировку качества товарного продукта.

Мировой опыт производства RDF указывает на перспективность одновременного использования в процессе производства вторичных топлив как компонентов ТБО, так и отдельных видов промышленных отходов. При этом следует помнить, что значительная часть промышленных отходов, образующихся на территории Донецкого региона (4,1–4,3 млн т) представляет интерес в качестве сырья для термической переработки. Следовательно, определенные виды данных отходов необходимо рассматривать в качестве потенциальных теплотворных добавок к вторичным топливам на основе ТБО. Совместная утилизация в таком случае будет иметь более ощутимый природоохранный эффект. Естественно, что правом приоритета в качестве подобной добавки должны пользоваться отходы, способствующие улучшению конечных характеристик получаемых топлив. Так, перспективным выглядит производство вторичных топлив на основе ТБО с использованием отдельных видов отходов коксохимических заводов (КХЗ), способных выступать не только в качестве теплотворной добавки, но и в качестве эффективного связующего компонента.

В данной работе представлены результаты обоснования рациональных составов топливных композиций на основе компонентов ТБО и отходов коксохимических заводов.

Ключевые слова: твердые бытовые отходы, смолистые отходы коксохимических заводов, совместная переработка, топливные композиции, связующее.

Калинихин О.Н., Синенко Д.Э. Определение эффективного связующего топливной композиции на основе компонентов твердых бытовых отходов и отходов коксохимических заводов // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Прикладная экология. Урбанистика. – 2018. – № 2. – С. 33–46. DOI: 10.15593/2409-5125/2018.02.03

Kalinihin O., Sinenko D. Determination of effective binder for a fuel composition based on components of municipal solid waste and waste of coking plants. PNRPU. Applied ecology. Urban development. 2018. No. 2. Pp. 33-46. DOI: 10.15593/2409-5125/2018.02.03

Введение. Анализ структуры динамики процессов переработки ТБО в странах Европейского союза [1] указывает на поэтапное замещение термических методов утилизации необработанного потока ТБО на методы, сочетающие извлечение балластных и утильных компонентов с получением высококалорийных топливных композиций нашедшими свое применение как в бытовых, так и промышленных теплогенерирующих устройствах [2]. Данная тенденция далеко не нова и берет свое начало еще с середины 90-х гг. Поступательное и устойчивое движение в данном направлении является, прежде всего, плодом активного экономического стимулирования со стороны национальных правительств и жесткой законодательной регуляторной политики наднациональных органов Европейского союза [3].

Еще одной сложившейся тенденцией в сфере термической переработки отходов является вовлечение в процесс совместной переработки, компонентов ТБО и промышленных отходов [4, 5], обладающих оптимальными теплотехническими показателями и способными существенно повышать эксплуатационные характеристики совместных топливных композиций. Страны постсоветского пространства обладают достаточным объемом как позитивного, так и негативного опыта в данной сфере. Наиболее показателен пример Российской Федерации, где процессы производства и утилизации топлива на основе компонентов ТБО и отходов промышленного производства стандартизированы и регулируются на законодательной основе, а примеры внедрения конкретных технологических решений давно вышли за рамки пилотных проектов [6–8].

В Украине успешность внедрения такого рода опыта ограничивалась лишь сферой законодательного регулирования, тогда как непосредственная практическая реализация проектов тормозилась по ряду причин, главными из которых были отсутствие грамотно составленных инвестиционных предложений и непродуманная информационная политика при работе с общественностью. Упущенные возможности привели к катастрофическим проявлениям в виде техногенных аварий на переполненных полигонах депонирования ТБО в ряде регионов страны. Не стал исключением и Донецкий регион, специфичность которого заключается в относительной доступности и дешевизне минерального топлива, снижающих инвестиционную привлекательность проектов по производству RDF.

При этом регион располагает значительными промышленными мощностями по производству и обогащению твердого минерального топлива, накоплены значительные объемы промышленных отходов, представляющих интерес в качестве сырья для термической переработки. Особого вни-

мания заслуживают смолистые отходы КХЗ, такие как кислая смолка, образующаяся в сатураторах сульфатных и бензольных отделений, и каменноугольные фусы, получаемые при охлаждении и очистке коксового газа. Данные виды отходов способны выступать не только в качестве теплотворной добавки, но и в качестве эффективного связующего компонента.

Целью представленной работы стало определение основных теплотехнических и механических свойств топливных композиций на основе компонентов ТБО и отходов КХЗ, выступающих в качестве связующего. Для реализации поставленной цели были сформулированы и решены следующие задачи исследования:

- 1) на основе результатов технического анализа смесей компонентов ТБО и отходов КХЗ определить рекомендуемый тип добавки связующего;
- 2) обосновать процентное соотношение компонентов ТБО и связующего в топливных смесях исходя из прочностных характеристик полученных топливных брикетов.

Методы исследования. Важнейшим этапом проведения лабораторных исследований стал процесс изготовления рабочих смесей, так как именно от правильного выбора состава последних в значительной мере зависела достоверность конечных результатов. Является очевидным, что рабочий состав используемых в экспериментах компонентов ТБО должен максимально отображать усредненный состав ТБО, принятый коммунальными службами, с поправками, учитывающими данные проведенных исследований [9] морфологического состава ТБО Донецкого региона.

Другими базовыми предпосылками, оказавшими влияние на подбор рабочего состава компонентов ТБО, стали: значительное влияние военного аспекта и с ним связанные социально-экономические изменения [10], отразившиеся на составе муниципальных отходов; необходимость извлечения части компонентов ТБО, что связано как с требованиями природоохранного законодательства, так и с требованиями к характеристикам вторичных топлив; присутствие в ТБО значительных количеств балластных компонентов.

Состав компонентов ТБО в топливной композиции, учитывающий данные предпосылки и результаты натуральных исследований, представлен в табл. 1.

Основными этапами получения исходной рабочей смеси ТБО были: подбор основных компонентов смеси (см. табл. 1); дробление и измельчение исходных компонентов до среднего размера 5 мм; дозирование и смешение компонентов ТБО; доведение пробы до величины средней влажности. В качестве компонента ТБО «пищевые отходы» использовались сухие комбинированные корма для животных, а поскольку влаж-

ность ТБО в основном определяется именно содержанием пищевых остатков, то возникла необходимость доведения величины влажности ТБО до средних 30 %. Для этого в полученную рабочую смесь массой 10 кг добавлялась дистиллированная вода.

Таблица 1

Исходные компоненты ТБО и способы их измельчения подготовки

Компонент ТБО	Содержание в смеси, мас. %	Исходные материалы	Способ измельчения (дробления)
Бумага, картон	30	Картонная тара, обрывки газет, отходы резки бумаги	Ручное измельчение
Пищевые отходы	30	Комбинированные корма для животных, пищевые остатки	–
Пластик	20	ПЭТ тара, остатки покрытий	Ручное измельчение
Садовые	20	Древесные и травяные остатки	Механическое измельчение

В качестве добавки к компонентам ТБО использовались смолистые отходы шламонакопителя Рутченковского коксохимического отделения ОАО «Донецккокс». Отходы КХЗ добавлялись к компонентам ТБО после предварительного их нагрева на водяной бане до температуры 80 °С в течение 15 мин.

В качестве объекта сравнения с отходами КХЗ при проведении технического анализа к ТБО добавляли одну из марок угля, обладающую высокой теплотой сгорания, а именно антрацитовый штыб (АШ). Антрацитовый штыб – отсева антрацита и обводненные отходы углеобогажительных фабрик, зернистая фракция (5–10 мм). Содержание углерода в органическом веществе антрацитового штыба составляет 89–98 мас. %, плотность 1,42–1,80 г/см³, выход летучих 1,5–9,0 мас. %, высшая удельная теплота сгорания 33,5–35,2 МДж/кг. Данная марка углей нашла широкое применение в процессах получения вторичных топлив [11, 12].

В качестве объекта сравнения с отходами КХЗ, необходимого для анализа основных механических свойств получаемых брикетов, рассматривалась добавка донных шламов Лисичанского НПЗ (ШНПЗ). Данный вид отходов образуется в результате производственной деятельности при переработке и хранении нефти-сырца. Донные шламы (придонный слой) обычно представляют собой твердую фазу, включающую до 45 мас. % органики, 52–88 мас. % твердых механических примесей, в том числе оксиды железа. Поскольку шламы представляют собой гидратированную массу, то содержание воды в них может достигать до 15 мас. % Содержание углерода в ор-

ганическом веществе донных шламов не превышает 40 мас. %, выход летучих – 15–20 мас. %, высшая удельная теплота сгорания донного шлама не велика и составляет порядка 10–15 МДж/кг. Последние годы нефтешламы – отходы II класса опасности – не принимаются на захоронение из-за переполнения полигонов промышленных отходов. Унифицированного способа переработки нефтешламов в целях их обезвреживания на данный момент нет [13, 14]. Подготовка смесей, включавших шламы НПЗ и антрацитовый штыб, проводилась аналогично с подготовкой смесей с отходами КХЗ.

Выбор процентного соотношения компонентов ТБО и промышленных отходов в смесях, оказавший влияние на ход дальнейших экспериментальных исследований, определялся исходя из следующих предпосылок:

- необходимость конечной крупномасштабной переработки компонентов ТБО (т.е. количество добавляемых промышленных отходов не может превышать 50 мас. %);
- необходимость получения смесей, обеспечивающих максимальную величину теплоты сгорания и минимальную величину энергозатрат при изготовлении брикета;
- соотношение компонентов смесей лимитируется стадией брикетирования смесей (т.е. количество добавляемых в качестве связующего промышленных отходов должно отвечать оптимальным физическим свойствам получаемого брикета).

Предварительная серия экспериментальных исследований по брикетированию смесей отходов показала следующее:

1) при добавлении к компонентам ТБО отходов в количестве, превышающем 40 мас. %, и при дальнейшей попытке их прессования наблюдалось проталкивание и просачивание смолистой массы и влаги ТБО на стенки пресс-формы, что делает невозможным изготовление брикетов с заданным соотношением компонентов;

2) избыток смолистой массы в брикетах ведет к отслаиванию компонентов ТБО и дальнейшему их разрушению даже при изменении условий прессования;

3) нарушения в процессе изготовления брикетов делают невозможным применение ряда стандартизированных методик к их последующим испытаниям.

Таким образом, в соответствии с поставленными условиями была изготовлена опытная партия брикетов для различных вариантов соотношения массовых долей ТБО и промышленных отходов, %: 90 + 10; 80 + 20; 70 + 30; 60 + 40. Брикеты были изготовлены на лабораторном прессе с давлением прессования 10 МПа.

Полученные результаты и их обсуждение. Проведение технического анализа смесей ТБО и промышленных отходов позволило получить информацию об основных теплотехнических характеристиках исходного сырья, идущего на переработку. Данная информация является как обязательным пунктом разработки технологического регламента процесса совместной переработки, так и отправной точкой для дальнейших исследований. Следует отметить, что применение простых расчетных методик определения показателей технического анализа смесей являлось неприемлемым по причине значительных расхождений в результатах калькуляции показателей в зависимости от применяемой расчетной методики [15], так и по причине вовлечения в состав смесей промышленных отходов.

Техническому анализу, исходя из условий, определяющих соотношение компонентов в смесях, изложенных выше, были подвергнуты смеси ТБО с кислой смолкой, каменноугольными фусами и антрацитовым штыбом в следующих соотношениях, мас. %: 90 + 10; 80 + 20; 70 + 30; 60 + 40 (табл. 2).

Таблица 2

Результаты технического анализа смесей компонентов ТБО
и промышленных отходов

Вид добавки промышленных отходов к ТБО	Содержание промышленных отходов в смеси, мас. %					
	0	10	20	30	40	100
<i>Общее содержание влаги в пробе (W^a, мас. %)</i>						
Кислая смолка	30,00	26,10	22,30	19,20	16,10	2,70
Фусы каменноугольные	30,00	28,12	25,12	22,37	19,31	6,98
Антрацитовый штыб	30,00	28,10	25,10	23,71	22,31	13,62
<i>Зольность пробы на сухую массу (A^d, мас. %)</i>						
Кислая смолка	16,20	15,50	14,54	13,60	12,36	7,61
Фусы каменноугольные	16,20	16,01	15,02	14,24	13,33	10,12
Антрацитовый штыб	16,20	17,43	17,81	17,81	18,01	18,29
<i>Выход летучих веществ на сухое беззольное топливо (V^{daf}, мас. %)</i>						
Кислая смолка	31,80	41,51	47,00	52,80	56,40	84,42
Фусы каменноугольные	31,80	32,23	32,61	34,30	34,74	53,23
Антрацитовый штыб	31,80	29,40	23,52	16,46	9,88	7,80
<i>Содержание общей серы (S_t^a, мас. %)</i>						
Кислая смолка	1,30	2,10	2,91	3,71	4,51	8,03
Фусы каменноугольные	1,30	1,65	2,00	2,35	2,54	3,51
Антрацитовый штыб	1,30	1,30	1,29	1,27	1,25	1,23
<i>Высшая теплота сгорания образца (Q_s^a, МДж/кг)</i>						
Кислая смолка	6,89	8,05	10,89	13,33	16,10	29,58
Фусы каменноугольные	6,89	9,92	12,76	14,57	17,97	34,41
Антрацитовый штыб	6,89	9,53	14,27	19,97	25,29	33,26

Как следует из данных табл. 2, введение в состав топливной композиции каменноугольных фусов и кислой смолки оказывает существенное влияние на изменение теплотехнических показателей последних. Анализ данных указывает на следующие выявленные характерные особенности данных изменений.

Рост содержания отходов КХЗ в составе топливной композиции ведет к снижению содержания в ней влаги. Наибольший эффект снижения влажности дает добавка отходов КХЗ в ее максимальном варианте, т.е. равном 40 мас. %, соответственно для случая добавки кислой смолки величина влажности составляет 16,10 мас. %, для каменноугольных фусов – 19,31 мас. %. Снижение содержания влаги может быть объяснено как замещением компонентов ТБО смолистыми отходами, так и «выдавливанием» влаги в процессе прессования. Данная особенность является положительным фактором, позволяющим решить проблему высокой влажности компонентов ТБО, находящихся в составе смеси.

Введение в состав смеси каменноугольных фусов и кислой смолки снижает зольность топливной композиции. Наибольший эффект снижения зольности характерен для добавки отходов КХЗ в ее максимальном варианте, равном 40 мас. %, соответственно для случая добавки кислой смолки величина зольности составляет 12,36 мас. %, для каменноугольных фусов – 13,33 мас. %.

Значительный прирост величины выхода летучих веществ, связанный с внесением добавки выбранных отходов КХЗ, способствует повышению реакционной способности топливных смесей и является положительным фактором для процессов сжигания в тепловых установках (практика эксплуатации последних показывает, что до 20 % природного газа расходуется на первичный розжиг поступающих в топку «свежих» порций отходов). Наибольшая величина выхода летучих веществ наблюдается в случае добавки отходов КХЗ в максимальном варианте, равном 40 мас. %, соответственно для случая добавки кислой смолки величина выхода летучих веществ составляет 56,40 мас. %, для каменноугольных фусов – 34,74 мас. %.

Наиболее значимым с точки зрения потенциального антропогенного воздействия на окружающую среду является показатель содержания общей серы в топливном брикете. Добавка 10 мас. % кислой смолки к компонентам композиции повышает содержание серы в топливной смеси в 2 раза (содержание общей серы в ТБО, как правило, колеблется в пределах 0,8–1,3 мас. %). В случае же 40 мас. % добавки кислой смолки содержание серы в смеси отходов составляет 4,51 мас. %, что превышает данный показатель для твердых минеральных топлив (содержание общей се-

ры в бурых углях и сланцах составляет 0,5–4 мас. %), тогда как для фусов каменноугольных, даже в случае 40 мас. % добавки, этот показатель не превышает 2,5 мас. %.

Анализ наиболее важного теплотехнического показателя смесей, теплоты их сгорания показывает, что ее наибольшая величина наблюдается в случае добавки отходов КХЗ в максимальном варианте, равном 40 мас. %, соответственно для случая добавки кислой смолки величина высшей теплоты сгорания составляет 16,10 МДж/кг, для каменноугольных фусов – 17,97 МДж/кг.

Таким образом, проведенный анализ перечня наиболее важных теплотехнических характеристик указывает на приоритетность использования в качестве теплотворной добавки каменноугольных фусов КХЗ.

Дальнейший анализ полученных результатов сводился к проверке соответствия характеристик смеси компонентов ТБО и каменноугольных фусов в максимальном варианте добавки последних, с нормативами, определяемыми положениями СОУ ЖКГ 03.09-17:2010 [16], являющегося базовым стандартом, определяющим требования к теплотехническим характеристикам альтернативного топлива, получаемого на основе компонентов ТБО в Украине и сравнению характеристик полученных смесей с показателями существующих мировых аналогов [3–6] (табл. 3, 4).

Таблица 3

Сравнение показателей технического анализа смеси компонентов ТБО и каменноугольных фусов с СОУ ЖКГ 03.09-17:2010

Показатель	Норматив	Характеристики образца
Общее содержание влаги в пробе (W^a , мас. %)	15–20	19,31
Зольность пробы на сухую массу (A^d , мас. %)	Не более 20	13,33
Выход летучих веществ на сухое беззольное топливо (V^{daf} , мас. %)	Не менее 15	34,74
Содержание общей серы (S^{at} , мас. %)	Не более 3	2,54
Высшая теплота сгорания образца (Q^{as} , МДж/кг)	10–20	17,97

Как следует из представленных данных, полученные топливные композиции отвечают требованиям стандарта и в целом не уступают аналогам, созданным на основе отходов промышленного производства.

Опыт сжигания RDF в топочных устройствах котлоагрегатов [4] показывает, что значительная часть топливной загрузки не может быть эффективно использована при слоевом сжигании вследствие провала через колосники топок и уноса части топлива потоками отходящих газов. Существует несколько технологических решений данной проблемы, одним

из которых является предварительное брикетирование отходов. Применительно к изучаемым смесям данный вид предварительной подготовки топлив представляется тем более предпочтительным, так как уже сейчас накоплен достаточно большой объем информации, касающейся использования смолистых отходов КХЗ в качестве связующих веществ при изготовлении брикетов на основе минеральных топлив. Брикетирование углей и других твердых минеральных топлив производится на прессах различных типов и конструкций. Наибольшее распространение получили вальцовые прессы с давлением прессования 10–50 МПа.

Таблица 4

Сравнительная характеристика смесей компонентов ТБО и каменноугольных фусов с нормативными требованиями разных стран

Фирма-производитель	Вид теплотворной добавки	Процент добавки, мас. %	Высшая теплота сгорания Q_s^a , МДж/кг	Содержание общей серы S^a , мас. %	Зольность A^d , мас. %
Beikers (США)	Отходы пищевой промышленности	20	18	2,3	14
Jeac (Канада)	Отходы животноводства	25	15	0,8	5
Энергия (Россия)	Отходы деревопереработки	10	20	1,2	8

В соответствии с поставленными задачами исследования на лабораторном прессе с давлением прессования 10 МПа была изготовлена опытная партия брикетов при различном содержании промышленных отходов. Партии содержали брикеты, изготовленные в соотношении ТБО + отходы КХЗ, шламы НПЗ (ШНПЗ), мас. %: 90 + 10; 80 + 20; 70 + 30; 60 + 40. Для исследования удельного сопротивления сжатию брикетов, как наиболее значимого их физико-механического показателя, также была изготовлена партия, содержащая связующее в количестве 45 мас. %.

Результаты испытаний опытной партии брикетов представлены в табл. 5.

Как следует из данных табл. 5, наибольшей величиной сопротивления сжатию (2,43 МПа) обладает брикет, содержащий в качестве связующего кислую смолку в количестве 40 мас. %. Для брикета, содержащего в качестве связующего донные шламы НПЗ в количестве 40 мас. %, эта величина составляет 0,88 МПа. Брикет, содержащий в качестве связующего каменноугольные фусы в количестве 40 мас. %, занимает промежуточное положение с показателем 1,12 МПа. Увеличение содержания связующих

веществ в топливных брикетах ограничивается насыщением когезионных связей смесей ТБО и связующего, и приходится на интервал содержания промышленных отходов 35–40 мас. %. Дальнейшее увеличение содержания связующих веществ ведет к резкому ухудшению показателя сопротивления сжатию топливных брикетов. Анализ данных, представленных в табл. 5, показывает, что наибольшей величиной механической ударной прочности (96,88 %) обладает брикет, содержащий в качестве связующего кислую смолку в количестве 40 мас. %. Для брикета, содержащего в качестве связующего донные шламы НПЗ в количестве 40 мас. %, эта величина составляет 37,34 %. При добавке каменноугольных фусов в количестве 40 мас. % данная величина составляет 84,31 %.

Таблица 5

Физические характеристики опытной партии топливных брикетов

Вид добавки промышленных отходов к ТБО	Содержание промышленных отходов в смеси, мас. %					
	0	10	20	30	40	> 40
<i>Удельное сопротивление сжатию (RC, МПа)</i>						
Кислая смолка	Не формируется	0,69	1,21	1,84	2,43	0,71
Фусы каменноугольные	Не формируется	0,48	0,78	0,91	1,12	0,56
Шламы НПЗ	Не формируется	0,23	0,42	0,79	0,88	0,38
<i>Механическая прочность при сбрасывании (ShI, %)</i>						
Кислая смолка	Не формируется	31,45	64,78	84,35	96,88	–
Фусы каменноугольные	Не формируется	29,13	54,67	74,21	84,31	–
Шламы НПЗ	Не формируется	16,73	18,15	28,34	37,34	–
<i>Водопоглощение брикета (X, мас. %)</i>						
Кислая смолка	Не формируется	28,32	15,63	8,26	6,12	–
Фусы каменноугольные	Не формируется	36,06	27,11	19,60	12,50	–
Шламы НПЗ	Не формируется	38,67	29,45	21,22	13,54	–

Исследование величины водопоглощения брикетов показывает, что наименьшей величиной водопоглощения в 6,12 % обладает брикет, содержащий в качестве связующего кислую смолку в количестве 40 мас. %. Для брикета, содержащего в качестве связующего донные шламы НПЗ в количестве 40 мас. %, эта величина составляет 13,54 %. При добавке каменноугольных фусов в количестве 40 мас. % данная величина составляет 12,50 %. На основании анализа данных табл. 5 были выявлены следующие характерные особенности влияния добавок отходов КХЗ на прочностные характеристики брикетов:

1) введение связующего (отходов КХЗ и нефтепереработки) в количестве менее 10 мас. % не обеспечивает полного обволакивания частиц ТБО и создания непрерывного адсорбционного слоя для контактирования взаи-

модействующих частиц. В результате не обеспечиваются влагустойчивость, механическая прочность и другие показатели физико-механических свойств брикета;

2) содержание связующего свыше 40 мас. % приводит к формированию объемного адсорбционного слоя, что придает структурному каркасу брикета повышенную пластичность, при этом увеличение содержания связующих веществ в топливных брикетах ограничивается насыщением когезионных связей смесей ТБО и связующего. Оптимальным является интервал содержания промышленных отходов в 35–40 мас. %. Дальнейшее увеличение содержания связующих веществ ведет к резкому ухудшению показателя сопротивления сжатию топливных брикетов;

3) попытки усиления давления прессования брикета с 10 до 100 МПа способствуют формированию прочного конгломерата даже при содержании связующего свыше 40 мас. %, однако полученный брикет при горении не является единым целым, что при температуре, не превышающей 200 °С, может привести к выплавлению связующего;

4) попытки введения связующего в количестве свыше 40 мас. % ведут к неоправданному существенному приросту энергозатрат на прессование смесей. При этом появляется необходимость таких технологических операций, как дополнительная гидрофобизация брикетов и необходимость вовлечения в процесс прессования дополнительных продуктов целевого назначения (графит, парафин и т.п.).

Перечисленные причины указывают на нецелесообразность введения в брикетируемую смесь доли отходов КХЗ более 40 мас. %.

Выводы. Таким образом, были получены данные относительно изменения физических характеристик брикетированных смесей отходов в зависимости от величины и вида добавки промышленных отходов к компонентам ТБО. Введение добавок отходов КХЗ в рабочие смеси в качестве связующего вещества значительно улучшает конечные теплотехнические и прочностные характеристики топливных брикетов, при этом отходы КХЗ явно выигрывают в сравнении с альтернативными вариантами связующего.

Проведенное обоснование процентного соотношения компонентов ТБО и связующего в топливных смесях исходя из прочностных характеристик полученной опытной партии топливных брикетов указывает на перспективность использования в качестве связующего компонента топливной композиции каменноугольных фусов в количестве 35–40 мас. %.

Библиографический список

1. Eurostat Municipal waste treatment, by type of treatment. – URL: http://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Municipal_waste_statistics (accessed 22 December 2017).
2. Chandrappa R., Das D.B. Solid Waste management, Environmental Science and Engineering. – London: Springer Heidelberg, 2015. – 414 p. DOI 10.1007/978-3-642-28681-0
3. Nicolas B., Oliver G. Municipal Waste Management in Europe: A Comparative Study in Building Regimes. – Paris: *Seiten*, 2010. – 232 p. DOI 10.1007/978-90-481-5292-6
4. Pawlowski L.V., Dudzinska M.R., Gonzalez M.A. Thermal solid waste utilisation in regular and industrial facilities. – New York: Springer International Publishing, 2000. – 474 p. DOI 10.1007/978-1-4615-4213-1
5. Альтернативное топливо из твердых бытовых отходов / В.В. Бушихин, А.Ю. Ломтев, А.Г. Будко, В.М. Пахтинов // Твердые бытовые отходы. – 2015. – № 4 (106). – С. 38–41.
6. Альтернативные топлива из твердых отходов: применение и легализация / В.В. Бушихин, О.Н. Кайгородов, Г.М. Полозов, О.Е. Федосеев // Экологический вестник России. – 2013. – № 5. – С. 42–45.
7. Альтернативное топливо из ТКО в современной России / А.Ю. Ломтев, В.В. Бушихин, Г.П. Колтон, Г.Б. Еремин, А.О. Карелин // Твердые бытовые отходы. – 2015. – № 10 (112). – С. 24–25.
8. Branchini L. Waste-to-Energy Advanced Cycles and New Design Concepts for Efficient Power Plants. – Bologna: Springer International Publishing, 2015. – 143 p. DOI: 10.1007/978-3-319-13608-0
9. Пособие по мониторингу полигонов твердых бытовых отходов. – Донецк: Tacis, 2004. – 293 с.
10. Половян А.В., Лепа Р.Н. Экономика Донецкой Народной Республики: состояние, проблемы, пути решения / ДИЭИ. – Донецк, 2017. – 59 с.
11. Михалев А.В. Гидродинамика псевдооживленного слоя и ее влияние на эффективность и экологичность процесса совместного сжигания антрацитового штыба и биогранул: дис. ... канд. техн. наук / Тамб. гос. техн. ун-т. – Тамбов, 2007. – 105 с.
12. Опыт сжигания низкосортного твердого топлива в топках кипящего слоя отопительных котлов мощностью до 1 МВт / А.В. Власюк, П.Ю. Зембицкий, Г.П. Кучин, В.Я. Скрипко, Г.В. Ефимов, П.И. Павленко, А.Н. Менайлов // Новости теплоснабжения. – 2001. – № 10. – С. 15–16.
13. Косулина Т.П., Кононенко Е.А. Повышение экологической безопасности продукта утилизации нефтяных шламов // Научный журнал КубГАУ. – 2012. – № 78 (4). – С. 1–10.
14. Проблема образования, переработки и утилизации нефтешламов / В.А. Гронь, В.В. Коростовенко, С.Г. Шахрай, Н.М. Капличенко, А.В. Галайко // Успехи современного естествознания. – 2013. – № 9. – С. 159–162.
15. Ильиных Г.В. Оценка теплотехнических свойств твердых бытовых отходов исходя из их морфологического состава // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Урбанистика. – 2012. – № 1 (5). – С. 35–42.
16. СОУ ЖКГ 03.09-17:2010. Побутові відходи. Технологія перероблення відходів пластмас, паперу та картону / ТОВ «УкрНДІкомунпроект». – Київ, 2010. – 26 с.

References

1. Eurostat Municipal waste treatment, by type of treatment, available at: http://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Municipal_waste_statistics (accessed 22 December 2017).
2. Chandrappa R., Das D.B. Solid Waste management, Environmental Science and Engineering. – London: *Springer Heidelberg*, 2015, 414 p. DOI 10.1007/978-3-642-28681-0
3. Nicolas B., Oliver G. Municipal Waste Management in Europe: A Comparative Study in Building Regimes. Paris: *Seiten*, 2010, 232 p. DOI 10.1007/978-90-481-5292-6
4. Pawlowski L.V., Dudzinska M.R., Gonzalez M.A. Thermal solid waste utilisation in regular and industrial facilities, New York: *Springer International Publishing*, 2000, 474 p. DOI 10.1007/978-1-4615-4213-1
5. Bushihin V.V., Lomtev A.Yu., Budko A.G., Pahtinov V.M. Alternativnoe toplivo iz tverdyih byitovyih othodov [Alternative fuel from solid household waste]. *Tverdyie byitovyie othodyi*, 2015, no. 4 (106), pp. 38-41.
6. Bushihin V.V., Kaygorodov O.N., Polozov G.M., Fedoseev O.E. Alternativnyie topliva iz tverdyih othodov primenenie i legalizatsiya [Alternative fuels from solid waste application and legalization]. *Ekologicheskiiy vestnik Rossii*. 2013, no. 5, pp. 42-45.

7. A.Yu. Lomtev, V.V. Bushihin, G.P. Kolton, G.B. Eremin, A.O. Karelin Alternativnoe toplivo iz TKO v sovremennoy Rossii [Alternative fuel from TKO in modern Russia]. *Tverdyie byitovyye othody*, 2015, no. 10 (112), pp. 24-25.
8. Branchini L. Waste-to-Energy Advanced Cycles and New Design Concepts for Efficient Power Plants Bologna: *Springer International Publishing*, 2015, 143 p. DOI: 10.1007/978-3-319-13608-0
9. Posobie po monitoringu poligonov tvordyyih byitovyih othodov [Solid waste landfills monitoring manual]. Donetsk: Tacis, 2004, 293 p.
10. Polovyan A.V., Lepa R.N. Ekonomika Donetskoy Narodnoy Respubliki: sostoyanie, problemy, puti resheniya [Economy of the Donetsk People's Republic: state, problems, solutions]. Donetsk: DIEI, 2017, 59 p.
11. Mihalyov A.V. Gidrodinamika psevdoozhizhennogo sloya i ee vliyanie na effektivnost i ekologichnost protsessa sovmestnogo szhiganiya antratsitovogo shtyiba i biogranul. Thesis of candidate's degree dissertation: 05.17.08, 05.14.04: [Hydrodynamics of a fluidized bed and its effect on the efficiency and environmental compatibility of the process of co-incineration of anthracite culms and bio. granules]. Tambov, Tambov State Technical University, 2007, 105 p.
12. Vlasyuk A.V., Zembitskiy P.Yu., Kuchin G.P., Skripko V.Ya., Efimov G.V., Pavlenko P.I., Menaylov A.N. Opyit szhiganiya nizkosortnogo tverdogo topliva v topkakh kipyaschego sloya otopitelnyih kotlov moschnostyu do 1 MVt [Expience burning low-grate fuel in the furnaces of the fluidized bed heating boilers up to 1 MVt]. *Novosti teplosnabzheniya*, 2001, no. 10, pp. 15-16.
13. Kosulina T.P., Kononenko E.A. Povyishenie ekologicheskoy bezopasnosti produkta utilizatsii neftyanyih shlamov [Enhancing the environmental safety of the product of oil sludge utilization]. *Nauchnyiy zhurnal KubGAU*, 2012, no. 78 (4), pp. 1-10.
14. Gron V.A., Korostovenko V.V., Shahray S.G., Kaplichenko N.M., Galayko A.V. Problema obrazovaniya, pererabotki i utilizatsii nefteshlamov [Enhancing the environmental safety of the product of oil sludge utilization]. *Uspshi sovremennogo estestvoznaniya*, 2013, no. 9, p. 159-162.
15. Ilinyih G.V. Otsenka teplotekhnicheskikh svoystv tverdyih byitovyih othodov ishodya iz ih morfologicheskogo sostava [Assessment of heat engineering properties of solid domestic waste based on their morphological composition]. *Vestnik Permskogo natsionalnogo issledovatel'skogo politehnicheskogo universiteta. Urbanistika*. 2012. no. 1 (5), pp. 35-42.
16. SOU ZHKH 03.09-17:2010 Pobutovi vidkhody. Tekhnolohya pereroblennya vidkhodiv, plastmas, paperu ta kartonu [SOU ZHKH 03.09-17:2010 Household wastes. Technology for the recycling of waste, plastics, paper and cardboard]. Kiev, UkrNiikomunpoekt Ltd, 2010, 26 p.

Получено 9.01.2018

O. Kalinihin, D. Sinenko

DETERMINATION OF EFFECTIVE BINDER FOR A FUEL COMPOSITION BASED ON COMPONENTS OF MUNICIPAL SOLID WASTE AND WASTE OF COKING PLANTS

Despite the increasing role of complex biothermal processing of municipal solid waste (MSW) in industrially developed countries, the methods aimed at obtaining secondary fuels from separate components of MSW – Refuse Derived Fuel (RDF), remain relevant. Combustion of such fuels in heat engineering processes has several advantages, such as saving of non-renewable fuel resources, the absence of contradictions with projects for separate sorting of solid waste, high flexibility of processing technology, allowing economic and environmental adjustment of the quality of the end product.

The world experience of RDF production points to the promise of simultaneous use in the production of secondary fuels both MSW components and certain types of industrial waste. At the same time, it should be remembered that a significant part of the industrial waste generated in the territory of the Donetsk region (4.1 – 4.3 million tons) is of interest as a raw material for thermal processing. Consequently, certain types of this waste should be considered as potential heat-producing additives to secondary fuels based on MSW. Joint utilization in this case will have more tangible environmental effect. Obviously, the right of priority as such an additive should be used for waste, which improves the final characteristics of the fuels produced. Therefore, the production of secondary fuels based on MSW with the use of certain types of waste of coking plants is promising; the latter can act not only as a heat-producing additive, but also as an effective binder component. In this paper, the results of the substantiation of the optimal fuel compositions based on the components of MSW and waste from coking plants are presented.

Keywords: municipal solid waste, resinous waste of coking plants, co-processing, fuel compositions, binder.

Калинихин Олег Николаевич (Донецк, Украина) – канд. техн. наук, доцент кафедры «Прикладная экология и охрана окружающей среды», Донецкий национальный технический университет (83001, г. Донецк, ул. Артема, 58, e-mail: kalinihin@gmail.com).

Синенко Дарья Эдуардовна (Макеевка, Украина) – магистрант кафедры «Техносферная безопасность», Донбасская национальная академия строительства и архитектуры (286123, г. Макеевка, ул. Державина, 2, e-mail: sine.96@mail.ru).

Kalinihin Oleg (Donetsk, Ukraine) – Ph.D. in Technical Sciences, Associate Professor, Department of Applied Ecology and Environment Protection, Donetsk National Technical University (83001, Donetsk, Artem str., 58, e-mail: kalinihin@gmail.com).

Sinenko Daria (Makeyevka, Ukraine) – Undergraduate student, Department of Technospheric Security, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture (286123, Makeyevka, Derzhavin str., 2, e-mail: sine.96@mail.ru).