

УДК 662.8.662.76

ГОРЮЧИЕ ОТХОДЫ И НЕКОНДИЦИОННОЕ ТОПЛИВО – СЫРЬЕВОЙ РЕСУРС МАЛОЙ ЭНЕРГЕТИКИ

© 2019 г. В. Г. Лурий^{1,*}, Л. А. Кост^{1,**}

¹ ФГУП Институт горючих ископаемых – научно-технический центр по комплексной переработке твердых горючих ископаемых (ФГУП ИГИ), 119071 Москва, Россия

*e-mail: Nikkom08@yandex.ru

**e-mail: lyudmilakost@rambler.ru

Поступила в редакцию 29.04.2019 г.

После доработки 20.05.2019 г.

Принята к публикации 03.06.2019 г.

Проведены исследования по использованию различных горючих отходов с целью их переработки в твердые, газообразные и жидкие энергоносители. Показано, что горючие отходы при соответствующей их подготовке и надлежащей технологии использования могут быть даже менее опасными для окружающей среды, чем традиционные энергоносители, в том числе уголь.

Ключевые слова: уголь, горючие отходы, местное топливо, низкокачественное топливо, энергия

DOI: 10.1134/S0023117719060070

Территория России, характер распределения населения и промышленных предприятий, сложность присоединения к централизованным источникам энергоснабжения, высокая стоимость энергии привели к тому, что более 30% потребителей не обеспечены централизованными энергоресурсами. Все это влияет на условия жизни людей, проживающих в малых городах и поселках, а также на состояние малого и среднего бизнеса, который в таких условиях не может успешно развиваться. В поселки Якутии для дизельных электростанций завозят дорогое дизельное топливо, при этом цена за 1 квт · ч для населения достигает 18–30 рублей. Однако проблема может быть решена за счет рационального использования угольных ресурсов.

В России добыча традиционных энергоресурсов сосредоточена на значительных расстояниях от основных потребителей, например уголь в России потребляется в 80 регионах, а добывается – в 24, поэтому в масштабах российской территории транспортная составляющая цены топлива резко возрастает. При транспортировке качественного угля на расстояние более 2000 км стоимость железнодорожных перевозок превышает стоимость перевозимого угля, кроме того, потери угля от выветривания составляют 1.5–3.0% от исходной массы, поэтому, чем ниже качество угля, тем меньше будет экономически целесообразное расстояние его перевозки. В этих условиях значительно возрастает роль переработки горючих от-

ходов и местных низкокачественных видов топлива.

Среди твердых горючих отходов необходимо выделить: отходы добычи и переработки углей, твердые бытовые отходы (ТБО), осадки от очистки сточных вод (ОСВ), а также отходы деревопереработки (кора, щепа, опилки, кусковые отходы, лигнин), сельского хозяйства (солома, шелуха семян, косточки, навоз, помет) и нефтехимической промышленности (нефешламы, отработанные масла, кислые гудроны и др.). Оценка горючих отходов и низкокачественных топлив показала, что их годовой объем сопоставим по энергосодержанию добыче угля в Кузбассе за тот же период.

Не утилизированные должным образом органосодержащие отходы, располагаясь в терриконах, отстойниках, иловых площадках, полигонах хранения (свалках), полях компостирования подвергаются окислению, гниению, анаэробному разложению и являются источником выделения вредных веществ в атмосферу, окружающую территорию, водные объекты, и составляют угрозу для жизни и здоровья людей. Кроме того, указанные отходы занимают огромные территории, которые изымаются из полезного использования.

Вместе с тем, речь идет не о противопоставлении централизованного и местного автономного энергоснабжения, а об их взаимном дополнении, когда каждая система наилучшим образом обеспечивает реальные экологические и энергетические потребности объектов промышленности,

Таблица 1. Характеристика брикетов, полученных из различных осадков сточных вод

Показатель	Обозначение	Величина
Общая влага рабочего топлива, %	W_i^r	6–23
Зольность рабочего топлива, %	A^r	5–42
Зольность сухой пробы, %	A^d	6–45
Выход летучих веществ рабочего топлива, %	V^r	30–85
Выход летучих веществ сухой беззольной пробы, %	V^{daf}	35–92
Массовая доля общей серы рабочего топлива, %	S_i^r	0.2–0.8
Массовая доля общей серы сухой пробы, %	S_i^d	0.25–0.9
Массовая доля углерода рабочего топлива, %	C^r	50–80
Массовая доля углерода сухой беззольной пробы, %	C^{daf}	52–89
Массовая доля водорода рабочего топлива, %	H^r	2.8–5.6
Массовая доля водорода сухой беззольной пробы, %	H^{daf}	3.2–7
Высшая теплота сгорания сухой беззольной пробы, Ккал/кг	Q_s^{daf}	4900–7500
Низшая теплота сгорания рабочего топлива, Ккал/кг	Q_i^r	2600–6050

сельского хозяйства, транспорта, строительства и быта.

Решение этого вопроса помимо весьма существенной экономии традиционных энергоресурсов приведет к снижению экологической нагрузки на окружающую среду. Несмотря на очевидную необходимость, переработка горючих отходов в России в кондиционные энергоносители предложения по внедрению зарубежных технологий и оборудования для переработки горючих отходов, однако они не всегда отвечают условиям нашей страны, так как цены на них весьма высоки, а условия их приобретения и эксплуатации весьма жесткие. Это предопределяет необходи-

мость импортозамещения в энергообеспечении, которое декларируется руководством страны.

Направления переработки местных топлив и горючих отходов определяются их природой, наличием соответствующих технологий и оборудования, потребителей продуктов переработки, эффективностью производства. Трудности в использовании горючих отходов и низкокачественных топлив определяются их свойствами, не позволяющими эффективно их использовать без предварительной подготовки (переработки). Такие отходы обычно характеризуются высокими влажностью и зольностью, мелкодисперсностью, неравномерным гранулометрическим составом, высокой кислотностью или, наоборот, щелочностью, выраженной неоднородностью свойств, самопроизвольным разложением и гниением при хранении.

Таким образом, основные технологические операции на первом этапе переработки горючих отходов должны быть направлены на изменение их свойств, а именно: на снижение влажности, зольности, увеличение однородности гранулометрического состава, снижение самопроизвольного разложения и гниения горючих отходов, т.е. на получение из некондиционных энергоресурсов квалифицированных топлив.

В ИГИ были предложены основные направления переработки горючих отходов.

Разработан процесс брикетирования [1] твердых осадков от очистки сточных вод разных городов России, Чехии, Польши. Для этого предварительно определяли класс экологической опасности используемого сырья, наличие и количество тяжелых металлов, технолого-энергетические показатели. Затем разрабатывали рецептуру брикетов, выявляли режимы и параметры переработки, разрабатывали технологические схемы производства. Полученные брикеты исследовали на содержание золы, определяли количество дымовых газов при сжигании и газификации, и их тепловые показатели, затем рассчитывали экономическую эффективность производства и использования брикетов. Результаты испытаний брикетов, полученных из осадков сточных вод, приведены в табл. 1, из которой видно, что указанные брикеты являются малосернистым и сравнительно высококалорийным топливом.

В результате экспериментального определения содержания вредных газообразных веществ в отходящих газах (NO_x , SO_2 , CO) при разных режимах сжигания этих брикетов в печи типа “Синель-лилипут” установлено, что загрязнение атмосферного воздуха даже при низких дымовых трубах (4–6 м) не превышает санитарно-экологических нормативов. Более того оно составляет не более 10% от максимально разовой ПДК любого из вредных выбросов: NO_x , SO_2 , CO . Проведен-

Таблица 2. Характеристика брикетов из лигнина гидролизных заводов

Показатель	Обозначение	Результат испытания	
		угля	брикетов
Общая влага рабочего топлива, %	W_t^r	16.1	7.3
Зольность рабочего топлива, %	A^r	20.4	5.4
Зольность сухой пробы, %	A^d	24.4	5.8
Выход летучих веществ рабочего топлива, %	V^r	20.4	59.6
Выход летучих веществ сухой беззольной пробы, %	V^{daf}	32.2	68.2
Массовая доля общей серы рабочего топлива, %	S_t^r	0.21	0.05
Массовая доля общей серы сухой пробы, %	S_t^d	0.25	0.05
Массовая доля углерода рабочего топлива, %	C^r	51.9	52.0
Массовая доля углерода сухой беззольной пробы, %	C^{daf}	81.8	59.5
Массовая доля водорода рабочего топлива, %	H^r	2.80	4.98
Массовая доля водорода сухой беззольной пробы, %	H^{daf}	4.42	5.71
Высшая теплота сгорания сухой беззольной пробы, МДж/кг (Ккал/кг)	Q_s^{daf}	31.702(7572)	23.380 (5584)
Низшая теплота сгорания рабочего топлива, МДж/кг (Ккал/кг)	Q_i^r	19.113 (4565)	19.156 (4575)

ные расчеты загрязнения атмосферного воздуха выбросами микроэлементов и бенз(а)пирена в условиях печи “Синель-лилипут” так же показывают, что при высоте дымовых труб 4–6 м максимально-разовые приземные концентрации, формируемые выбросами микроэлементов с отходящими газами печи, не превышают 10% от ПДК. Для других модификаций печей типа “Синель” высота дымовой трубы должна устанавливаться с учетом расхода брикетов, поступающих на сжигание.

Определение класса опасности брикетов и золы от их сжигания показало, что брикеты и зола имеют 4-й класс опасности и относятся к малоопасным отходам.

Исследовались брикеты из лигнина Онежского, Речицкого, Канского, Кропоткинского и Бобруйского гидролизных заводов. Свойства данных брикетов представлены в табл. 2, из которой видно, что брикеты из лигнина гидролизных заводов являются малосернистым, малозольным и высококалорийным топливом.

Проводились сравнительные исследования при сжигании Кузбасского угля марки СС и бри-

кетов из лигнина [2] Онежского гидролизного завода в котле типа “Универсал-6” муниципальной котельной в г. Пушкино Московской области. При этом определялись свойства брикетов, угля и золы от их сжигания.

Проведенные сравнительные испытания эффективности работы водогрейного котла “Универсал-6” при раздельном сжигании указанного угля и брикетов, полученных из лигнина, показали, что при работе котла на брикетах эффективность использования топлива существенно выше, чем при работе котла на кузнецком угле. Коэффициент полезного действия котла при работе на угле составил около 39%, а при работе на брикетах – около 54%. Это объясняется главным образом тем, что использование угля характеризуется большими потерями тепла от механического недожога, так как часть угля имеет размер зерен меньше, чем отверстия в колосниковой решетке, поэтому уголь проходит через нее, не задерживаясь. Выгорание крупных кусков, размер которых естественно сокращается и становится меньше отверстий в решетках, приводит к дополнительным потерям. В результате недогоревший уголь

проваливается в зольное отделение и величина недожога доходит до 32%.

Эти недостатки отсутствуют при сжигании брикетов, так как их размер до полного выгорания практически не изменяется и они остаются на колосниковой решетке. В связи с этим потери тепла с механическим недожогом при работе на брикетах практически отсутствуют ($g_4 \sim 0.2\%$).

Проведенные исследования показали, что брикеты характеризуются более высоким выходом летучих, чем уголь, и быстрее воспламеняются, поэтому их сжигание целесообразно проводить с меньшей подачей воздуха, т.е. при более низком избытке воздуха в топке, чем при работе на угле.

Положительным моментом является и тот факт, что при одинаковом тепловосприятии нагреваемой в котле воды период сгорания одной загрузки брикетов в количестве ~ 44 кг и угля, обеспечивающего аналогичное тепловосприятие воды, составляет около 1.5–2 ч, однако при сжигании брикетов обеспечивается устойчивая работа котла без вмешательства обслуживающего персонала. И, наконец, количество образующихся золошлаковых отходов при работе котла на брикетах, с учетом механического недожога, в 7.2 раза меньше, чем при работе того же котла на угле за одинаковый период эксплуатации и равном тепловосприятии воды. Следует подчеркнуть, что в зольном остатке, образующемся при сжигании брикетов, очень низкое содержание углерода, что делает возможным его использование в строительстве. Золоудаление, транспортировка и захоронение золы брикетов существенно упрощаются вследствие ее меньшего (почти на порядок) количества.

Выброс в атмосферу при одинаковом тепловосприятии нагреваемой воды при работе котла на угле почти в 4.5 раз выше, чем при работе на брикетах.

Таким образом, негативное воздействие на окружающую среду при работе котла на брикетах существенно меньше, чем при работе на кузнецком угле.

Следующее направление исследований – использование отсевов углей, или продуктов их переработки. На отсевах антрацита, кокса, полукочка или тощего угля разработана технология получения бездымных или малодымных брикетов – “ЕВРО ОРЕХ”. При создании технологии использовали экологически безвредные связующие такие как торфяной гель, производные талового масла, жидкое стекло, растительные отходы. Для изготовления брикетов применяли вальце-

вые прессы, полученные брикеты обладали высокой теплотой сгорания и не выделяли при горении дыма и запаха, имели высокую прочность и водостойкость.

Изучали газификацию брикетов на основе осадков от очистки сточных вод и ТБО городов: Чебоксары, Щелково, Тыхы (Польская республика). Исследования проводили на газогенераторном электротеплоагрегате с целью определения состава генераторного газа, вредных выбросов выхлопных газов и класса опасности золы, получаемой при газификации этих брикетов. Испытательный агрегат состоял из газогенератора обращенного процесса газификации, системы очистки и охлаждения генераторного газа, газопоршневого двигателя, работающего на генераторном газе, и электрогенератора. Брикеты подавались в газогенератор, получали генераторный газ, который после очистки и охлаждения подавался в газопоршневой двигатель, последний являлся приводом электрогенератора, вырабатывающего электрический ток стандартных параметров. Во время эксперимента отбирали пробы генераторного газа, выхлопного газа двигателя и золы из газогенератора. Исследования показали, что из данных брикетов получен генераторный газ с теплотой сгорания 1100–1300 Ккал/м³ в количестве 1.9–2.2 м³ из одного килограмма брикетов. Пробы воздуха в рабочей зоне (0.5 м; 1 м; 2 м; 4 м от выхлопной трубы) показали, что суммарная концентрация NO_x, SO₂, CO не превышала 15% от ПДК.

Выхлопные газы, отобранные в выхлопной трубе, содержали суммарную концентрацию диоксинов и дибензофуранов по диоксиновому эквиваленту 35–38 пг на 1 м³ при ПДК по европейским нормативам 100 пг.

Был проведен цикл исследований по разработке технологии получения брикетов на основе кислого гудрона. В состав брикетируемой массы включали кислый гудрон, осадок от очистки сточных вод, опилки и оксид кальция. Разработанные режимы и параметры позволили получить механически прочные, атмосферостойкие и термочувствительные брикеты, которые достаточно легко воспламенялись и горели ровным пламенем с последующим свечением без выброса сажи и практически без наличия недожога углерода в золе. Полученные брикеты имели влажность – 8.6–12 мас. %; зольность 15–24 мас. %; выход летучих – 72–78%; низшую теплоту сгорания на рабочее топливо 3040–3120 ккал/кг; высшую теплоту сгорания 6120 ккал/кг. Сжигание брикетов в топке печи показало, что выброс вредных газов (NO_x,

SO₂, CO) не превышал 50% от ПДК. Зола после сжигания брикетов не содержала сверхнормативных вредных веществ. В результате данных исследований была разработана технология безопасной переработки кислых гудронов с получением тепла и электроэнергии.

Еще одно перспективное направление – это переработка перечисленных горючих отходов и низкокачественного топлива с применением термохимических способов получения энергии, среди которых сжигание с получением полезного тепла, газификация с производством горючего газа и зольного остатка, а также пиролиз с получением трех продуктов: горючего газа, жидкого топлива, углеродистого твердого продукта [3].

Необходимо отметить, что сжигание как способ утилизации не всегда допустимо для переработки отходов, например при переработке ТБО – из-за получения большого количества опасной золы и образования вредных веществ в выбрасываемых дымовых газах и, соответственно, больших затрат на их очистку.

Наиболее часто для малой энергетики применяют комплексы с использованием процесса газификации, в котором обеспечивается терморазложение топлива с недостатком кислорода, при этом получают два продукта: горючий газ и золу, газ может быть использован в различных топках, в двигателях внутреннего и внешнего сгорания, в газовых турбинах. По сравнению с прямым сжиганием топлива дымовых газов, получаемых при сжигании генераторного газа, образуется в 2–3 раза меньше, они содержат гораздо меньше вредных веществ, а их удельное количество находится в рамках самых строгих природоохранных нормативов.

В ИГИ были проведены исследования процессов газификации углеродсодержащих отходов в газогенераторных энергокомплексах. Газогенераторные энергокомплексы состоят из четырех основных узлов.

Узел подготовки сырья к газификации, где могут осуществляться такие операции, как сортировка, сушка, измельчение, шихтовка.

Узел газификации топлива, очистки и охлаждения горючего генераторного газа.

Узел использования генераторного газа, например топка теплогенератора или котла, двигатель внутреннего или внешнего сгорания, газовая или паровая турбина, заблокированные с электрогенераторами для выработки электрического тока.

ФГУП ИГИ совместно с группой “НИККОМ” проводит работы по созданию и внедрению полных энерготехнологических комплексов с целью получения тепла и энергии, в основе которых лежат оригинальные процессы подготовки сырья и вихревой его газификации [4]. После выполнения широкого цикла НИР и ОКР был изготовлен и испытан опытный образец энергокомплекса с оригинальным вихревым газогенератором, который позволил перерабатывать различные виды отходов, в том числе и такие сложные, как ТБО. В данном комплексе из углеродсодержащих отходов получается очищенный и охлажденный генераторный газ с теплотой сгорания 1100–1250 Ккал/нм³, который подается на двигатель внутреннего сгорания, сблокированный с электрогенератором, вырабатывающим электрический ток стандартных параметров. Мощность данного комплекса по вырабатываемому газу 230–300 нм³/ч, по электроэнергии – 80–100 кВт.

Кроме того, был разработан и построен опытно-промышленный энергокомплекс с вихревым газогенератором мощностью по генераторному газу 1200 нм³/ч, по электроэнергии – 400 кВт, с выработкой попутного тепла 350 кВт/ч. Этот комплекс успешно прошел испытания в Польше (г. Лазиска-горная) на различных видах отходов.

Для переработки низкокачественных топлив и горючих отходов применялся процесс пиролиза, при котором в реакторе создавалась температура 400–1200°C, куда подается углеродсодержащее топливо и без присутствия кислорода происходит деструкция топлива с получением пироугля и пирогазов, которые могут быть разделены на жидкое топливо и горючий газ. Пироуголь – это углеродный порошок с частицами от 0.1 до 3.0 мм, жидкое топливо – многокомпонентная смесь, состоящая из углеводородов, а газ содержит CO, H₂, CH₄, O₂, N₂. Пироуголь характеризуется высоким содержанием углерода и низким – летучих веществ, его теплота сгорания зависит от состава исходного сырья, направленного на пиролиз, кроме того, пироуголь имеет высокую пористость, что обуславливает его высокую сорбционную способность. Он применяется как бездымное топливо, сорбент или восстановитель.

Получаемая при пиролизе жидкая фракция может использоваться как топливо и как сырье для химического передела в моторное топливо и другие ценные продукты.

Газ, получаемый при пиролизе, может использоваться как топливо в котлах, в двигателях внутреннего и внешнего сгорания и как восстановитель.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результаты проведенных исследований показывают, что горючие отходы при соответствующей их подготовке и надлежащей технологии использования могут быть даже менее вредными для окружающей среды, чем традиционные энергоносители, в том числе уголь, а учитывая их огромное количество, значительный энергетический потенциал и повсеместную распространенность, а также отрицательное влияние на окружающую среду при накоплении, переработка горючих отходов в экономически безопасные энергоносители является серьезной государственной задачей.

Создание энергетических комплексов по производству энергоносителей из отходов должно быть максимально встроено в материальное про-

изводство и инфраструктуру региона. Эта означает, что масштабы и вид используемых энергоресурсов должны быть согласованы с общей схемой энергообеспечения потребителей и экологией региона.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Лурий В.Г.* // Химия и природосберегающие технологии использования угля. М.: Изд-во МГУ, 1999. С. 87.
2. *Лурий В.Г.* // ХТТ. 2008. № 6. С. 22.
3. *Лурий В.Г., Панкратов А.Н., Кириллова Н.Л.* // Рециклинг, переработка отходов и чистые технологии: Сб. материалов 9-й Междунар. науч.-практ. конф. М.: ИОТТ, 2013. С. 57.
4. *Лурий В.Г., Панкратов А.Н.* // Новости теплоснабжения. 2013. № 11. С. 19.