

УДК 662.815.4

ТВЁРДОЕ КОМПОЗИТНОЕ ТОПЛИВО ИЗ НИЗКОСОРТНОГО СЫРЬЯ (ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ АСПЕКТ)

Табакаев Роман Борисович,

инженер каф. парогенераторостроения и парогенераторных установок Энергетического института ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Томский политехнический университет», Россия, 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30. E-mail: TabakaevRB@tpu.ru

Казаков Александр Владимирович,

канд. техн. наук, доцент каф. парогенераторостроения и парогенераторных установок Энергетического института ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Томский политехнический университет», Россия, 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30. E-mail: kazakov@tpu.ru

Заворин Александр Сергеевич,

д-р техн. наук, заведующий каф. парогенераторостроения и парогенераторных установок Энергетического института ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Томский политехнический университет», Россия, 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30. E-mail: zavorin@tpu.ru

Актуальность работы обусловлена необходимостью вовлечения местных ресурсов низкосортного сырья в топливно-энергетический баланс.

Цель работы: обобщение результатов теплотехнологической переработки низкосортного сырья, разработка технических решений для производства композитного топлива на его основе и определение параметров сушки в зависимости от формы и размеров композитного топлива.

Методы исследования: теплотехнологическая переработка низкосортного сырья в композитное топливо осуществлялась согласно пат. № 2484125 Рос. Федерация «Способ изготовления топливных брикетов из биомассы». Теплотехнические характеристики низкосортного сырья Томской области и композитного топлива на его основе определялись по ГОСТ Р 52911–2008 «Топливо твердое минеральное. Методы определения общей влаги», 11022–95 «Топливо твердое минеральное. Методы определения зольности», 6382–2001 «Топливо твердое минеральное. Методы определения выхода летучих веществ», 147–95 «Топливо твердое минеральное. Определение высшей теплоты сгорания и вычисление низшей теплоты сгорания». Испытания по определению водопоглощения топлива проведены в соответствии с ГОСТ 21290–75 «Брикеты угольные. Метод определения водопоглощения». Механические характеристики композитного топлива определены согласно ГОСТ 21289–75 «Брикеты угольные. Методы определения механической прочности». При определении параметров сушки топлива изготовлено формой и размерами согласно ГОСТ Р 54248–2010 «Брикеты и пеллеты (гранулы) торфяные для коммунально-бытовых нужд. Технические условия».

Результаты: изложены основные принципы теплотехнологии получения композитного топлива из низкосортного сырья. Приведены результаты переработки низкосортного сырья Томской области в композитное топливо. Исследована возможность и определены параметры придания влагостойкости композитному топливу за счет использования пиролизной смолы. Предложена техническая реализация установки по производству композитного топлива согласно используемой теплотехнологии. Определены параметры сушки для различных размеров композитного топлива цилиндрической формы.

Ключевые слова:

Теплоэнергетика, теплотехнология, низкосортное сырьё, твердое композитное топливо, влагостойкость, установка брикетирования.

Введение

Наиболее распространенным видом топлива для производства электроэнергии и тепла в топливно-энергетическом балансе (ТЭБ) Российской Федерации является природный газ (в 2008 г. его доля составила более 53 % [1]). Однако природный газ является не только ценным продуктом для химической промышленности, но и стратегически важным ресурсом на мировом рынке и в межгосударственных отношениях. В связи с этим Правительство РФ стремится сократить количество газа, направляемого на использование в энергетических целях на внутреннем рынке. Стоит отметить, что в ТЭБ большинства экономически развитых стран его доля не превышает (20–25) % [2].

Согласно государственной программе «Энергетическая стратегия России до 2030 года» [1] снижение доли природного газа в энергетике должно осуществляться за счет увеличения доли твердого топлива. Запасы действительно качественного твердого топлива – каменного угля, при всей обширности территории России, расположены только в нескольких регионах (Хакасии, Кузбассе, республиках Тыва, Саха (Якутия)). Стоимость угля при доставке в другие регионы существенно увеличивается: по оценке экспертов [3–5] транспортные расходы, связанные с доставкой топлива от месторождения до потребителя, достигают 70–80 % от его стоимости. К тому же в ряде случаев топливо поставляется коммерческими структурами из вто-

ричного рынка после многократных перепродаж. Все вышеописанное в совокупности с ежегодным ростом тарифов транспортных компаний приводит к увеличению стоимости топлива для потребителей более чем в 1,5–2 раза [2].

Поселения, удаленные от своих административных центров, находятся в еще более сложной ситуации из-за слабой развитости транспортной связи. Логистика доставки топлива в данном случае существенно осложнена удаленностью пунктов назначения от основных транспортных магистралей, большими расстояниями перевозок, их многозвенностью и сезонностью завоза (в некоторые районы доставка возможна только воздушным или речным способами). Согласно [6, 7] в России насчитывается свыше 30000 населенных пунктов подобного рода, в которых проживает более 10 % населения страны. Затраты на топливо в таких поселениях являются главной составляющей расходов теплоснабжения, а экономически обоснованные тарифы на электроэнергию в некоторых районах превышают 70 р./кВт·ч [8, 9].

Однако практически в каждом регионе присутствуют собственные запасы низкосортного сырья: торфа, древесины или отходов деревоперерабатывающей промышленности, сапропеля, бурого угля и т. п. Данное сырье, как правило, содержит большое количество влаги и характеризуется высокой зольностью, в результате чего имеет теплоту сгорания ниже 10–12 МДж/кг [10, 11]. Низкие теплотехнические и прочностные характеристики низкосортного сырья приводят к ряду сложностей при осуществлении его прямого сжигания традиционными способами: требуется тщательная сушка, велика величина провала через колосниковую решетку, снижается надежность работы котлоагрегата из-за высокого абразивного износа поверхностей нагрева, увеличиваются сроки и затраты на ремонт и прочее. В результате этого энергетическое использование такого сырья сопровождается высокими эксплуатационными затратами и в связи с этим встречается крайне редко.

К современным способам энергетического использования, позволяющим эффективно перерабатывать низкосортное сырье, можно отнести сжигание в кипящем слое [12], применение низкотемпературных вихревых топок [13], газификацию [14, 15] или каталитическое сжигание [16, 17]. Однако перечисленные способы требуют значительных капиталовложений для замены или модернизации имеющегося на данный момент котельного оборудования, что приводит к долгим срокам окупаемости.

Соответственно переработка низкосортного сырья для эффективного энергетического использования в существующем котельном оборудовании является актуальной научно-технической задачей.

Основные принципы теплотехнологии получения твердого композитного топлива из низкосортного сырья

Потребность удаленных населенных пунктов в энергетическом топливе в основном реализуется котельными жилищно-коммунального хозяйства и малых предприятий, в распоряжении которых находятся топливосжигающие устройства слоевого типа. Сжигание несортированного низкосортного сырья в таких топочных устройствах неэффективно из-за больших потерь тепла вследствие провала мелких частиц топлива сквозь колосниковую решетку. В связи с этим прибегают к предварительному формованию сырья, наиболее распространенным видом которого является брикетирование. Брикеты не требуют модернизации топливосжигающего оборудования и подходят для всех типов слоевых топок.

Теплотехнология – это совокупность методов преобразования органического сырья в заданный товарный продукт на основе изменения теплового состояния материала сырья [18]. Целью теплотехнологической переработки является получение облагороженного продукта, обладающего высокой теплотой сгорания (8840–25980 кДж/кг [19]) – углеродистого остатка (полукокса или кокса). Известны работы [20–24] по производству топлива из углеродистого остатка, основанные на использовании связующих веществ и последующем прессовании. Однако прессовое оборудование является довольно дорогостоящим, а процесс прессования требует повышенных энергозатрат на его осуществление. Учитывая высокую стоимость электроэнергии и оборудования, рыночная цена существующего композитного топлива (топливных брикетов Ruf, Pini&Kau, Nestro) составляет 4000–12000 р. за тону, что в несколько раз превышает стоимость привозного топлива и приводит к ярко выраженной экспортной направленности производства [25, 26].

Подбор специального типа связующего вещества позволит снизить необходимые для формования усилия и заменить прессы менее энергоёмким и более дешевым оборудованием шнекового типа, тем самым снизив и себестоимость самого топлива. Исходя из этих соображений, в Томском политехническом университете разработана теплотехнология получения твердого композитного топлива из низкосортного сырья [27].

Согласно [27] переработка низкосортного сырья в композитное топливо осуществляется в три стадии: теплотехнологическая переработка исходного сырья, формование и сушка композитного топлива. На первой стадии низкосортное сырье подвергается низкотемпературному пиролизу при температурах (200–450) °С, в результате которого получают полукокс, пиролизный конденсат (пиролизная смола и подсмольная вода) и топливный газ.

Большинство видов низкосортного сырья (торф, древесина) содержат большое количество кислорода в своем составе, в результате чего их пиролиз сопровождается выделением тепла (экзотермическим эффектом). Топливный газ является побочным продуктом тепловой технологии, так как непосредственно не участвует в получении композитного топлива. Однако, обладая высокой теплотой сгорания 12,3–14,5 МДж/м³ [28], газ может быть использован в качестве топлива при осуществлении тепловой технологии. Таким образом, возможны варианты промышленной реализации технологии, когда тепла от сжигания топливного газа будет достаточно для осуществления процесса низкотемпературного пиролиза сырья.

При формовании декстрин растворяют в пиролизном конденсате в соотношении 10:1 [29], полученный формовочный раствор подогревают до температуры 50–70 °С, смешивают с измельченным полукоксом. Из смеси формируется сырец, который сушат при комнатной температуре.

В табл. 1 приведены результаты переработки некоторых видов низкосортного сырья Томской области в композитное топливо согласно описанной теплотехнологии.

При переработке увеличивается зольность композитного топлива по сравнению с исходным сырьём. Однако за счет облагораживания низшая теплота сгорания имеет высокое значение 13,1–29,4 МДж/кг, сопоставимое с теплотой сгорания бурых и каменных углей.

В работе [30] отмечено, что пиролизная смола, содержащаяся в пиролизном конденсате, обладает свойством гидрофобности. В связи с этим была исследована возможность придания композитному топливу свойства влагостойкости посредством нанесения на его поверхность пиролизной смолы с последующей сушкой при различных температурах. Испытания влагостойкости композитного топлива проведены согласно ГОСТ 21290–75 «Брикеты угольные. Метод определения водопоглощения».

Таблица 1. Характеристики низкосортного сырья и композитного топлива на его основе

Table 1. Characteristics of low-grade raw materials and composite fuel on its basis

Теплотехнические характеристики Thermal performance	Кандинский Kandinsky	Суховской Sukhovskoy	Аркадьевский Arkadyevskiy	Опилки Saw dust
	торф/peat			
Исходное сырьё/композитное топливо Source raw material/composite fuel				
Рабочая влажность Process fluid, W_f , %	72,8/0,0	59,6/0,0	38,2/0,0	45,0/0,0
Зольность на сухую массу A^d , % Zonality per dry basis A^d , %	9,1/19,1	39,5/40,7	31,5/51,6	0,6/2,9
Выход летучих на сухую беззольную массу V^{daf} , % Volatile yield per dry ash-free matter V^{daf} , %	71,6/19,4	69,3/20,9	71,0/15,5	91,8/13,1
Низшая теплота сгорания Q_f' , МДж/кг Lower heat value Q_f' , MJ/kg	3,1/21,1	4,2/14,7	7,3/13,1	9,3/29,4

Отмечено, что при температуре сушки свыше 50 °С пиролизная смола плавится, стекая с поверхности топлива или впитываясь в него, в результате чего влагостойкость не обеспечивается и оно со временем разрушается при контакте с водой. Сушка при температуре 20–40 °С позволяет получить на поверхности топлива защитный слой (рис. 1), полностью предотвращающий водопоглощение (водопоглощение композитного топлива равно нулю).

Техническая реализация установки по производству композитного топлива

Один из вариантов технической реализации установки по производству композитного топлива, обладающего влагостойкостью, представлен на рис. 2.



Рис. 1. Фотография композитного топлива: а) без нанесения смолы; б) с защитным слоем из пиролизной смолы

Fig. 1. Picture of composite fuel: a) without resin coating; b) with pyrolysis resin protective coating

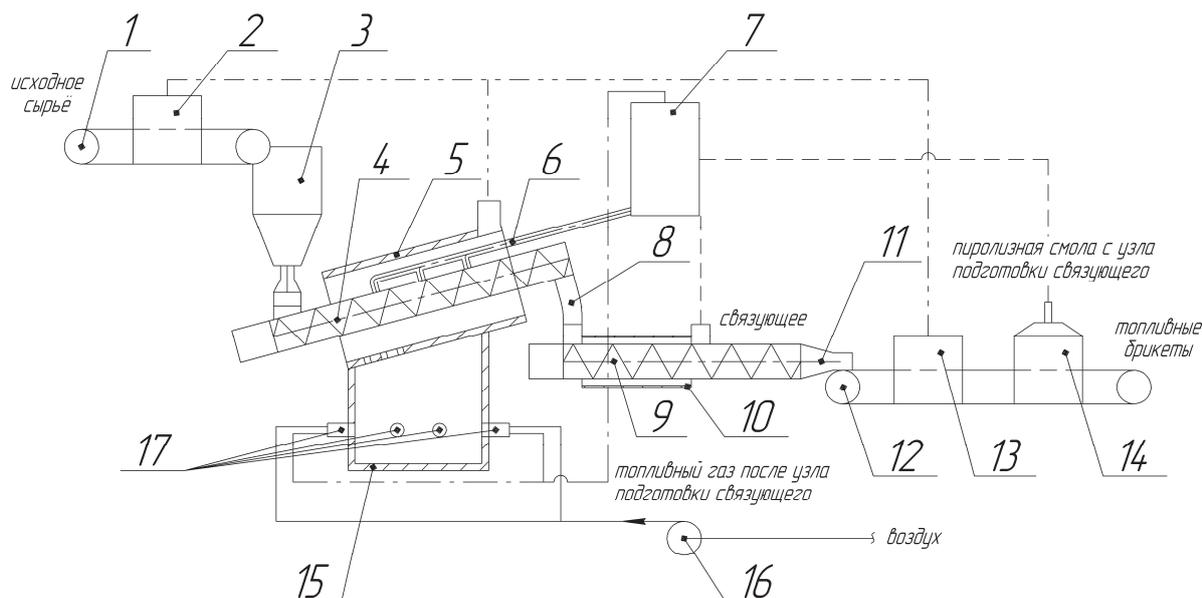


Рис. 2. Теплотехнологическая установка по производству композитного топлива из низкосортного сырья: 1 – ленточный конвейер; 2 – сушилка сырья; 3 – дробилка с дозирующим устройством; 4 – наклонный шнековый транспортер; 5 – газовая камера; 6 – каналы летучих продуктов; 7 – узел подготовки связующего; 8 – соединительный канал; 9 – шнек; 10 – теплообменник; 11 – формующая насадка; 12 – конвейер; 13 – сушилка топлива; 14 – камера нанесения смолы; 15 – камера сгорания топливного газа; 16 – дутьевой вентилятор; 17 – горелочные устройства

Fig. 2. Heating plant for manufacturing composite fuel from low-grade raw material: 1 is the belt conveyor; 2 is the raw material dryer; 3 is the breaker with a dosing device; 4 is the inclined screw feeder; 5 is the gas chamber; 6 is the volatile product channel; 7 is the element of preparing bind; 8 is the connecting channel; 9 is the screw; 10 is the heat-exchange unit; 11 is the shaping bed; 12 is the conveyor; 13 is the fuel dried; 14 is the resin applying chamber; 15 is the fuel gas combustor chamber; 16 is the blast fan; 17 is the burner unit

Исходное низкосортное сырьё при помощи конвейера – 1 поступает в сушилку – 2, подсушенное топливо направляется в дробилку – 3, где измельчается и дозированно поступает в наклонный шнековый транспортер – 4, расположенный в газовой камере – 5. Газовая камера позволяет обогревать шнековый транспортер дымовыми газами, поступающими из камеры сгорания топливного газа – 15. В ходе нагрева из топлива выделяются летучие продукты (топливный газ, пары пиролизной смолы и подсмольной воды), которые отводятся через каналы летучих продуктов – 6 и направляются в узел подготовки связующего – 7. Оставшийся углеродистый остаток из наклонного шнекового транспортера – 4 через соединительный канал поступает в горизонтальный шнек – 9. Часть шнека охлаждается теплообменником – 10 для снижения температуры углеродистого остатка. В неохлаждаемой части шнека предусмотрен канал ввода связующего вещества, полученного в узле подготовки связующего. Формующая насадка – 11, расположенная на выходе из шнека, позволяет получать сырец композитного топлива заданной формы и размеров. Далее сырец при помощи конвейера – 12 поступает в сушилку – 13, затем в камеру нанесения смолы – 14.

Топливный газ, очищенный от паров смолы и воды в узле подготовки связующего – 7, и воздух, подаваемый дутьевым вентилятором – 16, посту-

пают в горелочные устройства – 17 камеры сгорания.

Энергопотребление оборудования, входящего в состав установки для производительности 45 т композитного топлива в сутки, по расчетам не превышает 25 кВт.

Представленный вариант теплотехнологической установки является в целом универсальным и способным перерабатывать различные виды низкосортного топлива, однако комплектация установки зависит от конкретного вида сырья. Например, при переработке торфа, обладающего низкими прочностными характеристиками и мелким фракционным составом, предварительное измельчение не требуется – сырье измельчится в процессе термопереработки и перемещения в шнековом транспортере. В установке по переработке опилок или древесной щепы, не выделяющих пиролизную смолу при теплотехнологической переработке, будет отсутствовать измельчитель и камера нанесения смолы.

Определение параметров сушки композитного топлива

Форма и геометрические размеры топлива существенно влияют как на прочность, так и на процесс сжигания композитного топлива в топочной камере. Установка по производству композитного топлива не содержит в своем составе прессового

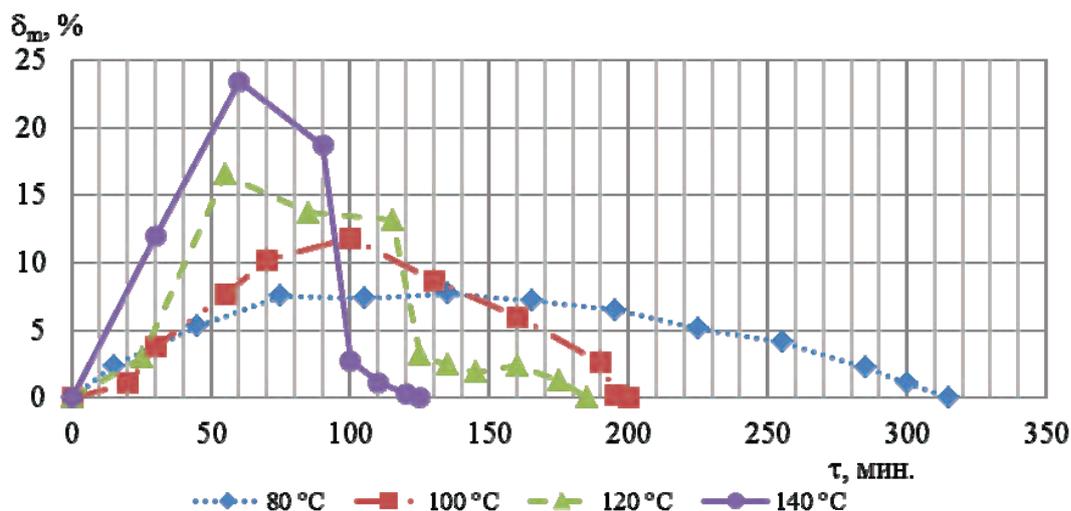


Рис. 3. Потеря влаги пеллет (δ_m) от времени τ при различной температуре сушки

Fig. 3. Pellet moisture loss (δ_m) on time τ at different drying temperature

оборудования, следовательно, размеры на выходе не привязаны к конструкции матричного канала.

Согласно ГОСТ Р 54248–2010 «Брикеты и пеллеты (гранулы) торфяные для коммунально-бытовых нужд. Технические условия» композитное топливо подразделяется на брикеты и пеллеты (гранулы). Брикеты могут иметь форму цилиндра, прямоугольной четырехгранной или шестигранной призмы; пеллеты – цилиндрическую или шарообразную форму.

С точки зрения простоты изготовления формовочной насадки и наименьшего сопротивления смеси при её прохождении предпочтительна цилиндрическая форма композитного топлива. Для экспериментального определения требуемой температуры сушки были изготовлены пеллеты размерами $\varnothing 25 \times 10$ мм, которые сушились при различных температурах, от 20 до 140 °С. Результаты изменения массы пеллет в процессе сушки показаны на рис. 3.

Из рис. 3 видно, что при высокой температуре сушки влага из пеллет интенсивно испаряется, что приводит к появлению пористости на поверхности пеллет. Полученные пеллеты испытаны на механическую прочность согласно ГОСТ 21289–75 «Брикеты угольные. Методы определения механической прочности» (табл. 2).

Таблица 2. Результаты механических испытаний пеллет цилиндрической формы

Table 2. Results of mechanical tests of bowl shaped pellets

Температура сушки, °С Drying temperature, °C	Показатели механической прочности Mechanical strength indices	
	при сбрасывании, % at drop, %	на сжатие, МПа compression, MPa
20	100	0,38
80	100	0,38
100	100	0,26
120	100	0,26
140	100	0,20

Отмечено, что в процессе сушки при температуре свыше 120 °С поверхность пеллет имеет заметные трещины, которые существенно снижают их прочностные характеристики. Наибольшей прочностью на сжатие обладают пеллеты, высушенные при температуре 20–80 °С.

Однако сушка брикетов цилиндрической формы с размерами $\varnothing 50 \times 50$ мм при температуре 20–80 °С показала, что для брикетов данных размеров температура сушки не должна превышать 20–40 °С, что позволяет получить брикет без наличия пор и трещин на поверхности (рис. 4, а). Более высокая температура сушки приводит к образованию трещин на поверхности брикета (рис. 4, б).

Появление трещин объясняется тем, что увеличение размеров приводит к неравномерности нагрева брикета. Ввиду низкой теплопроводности брикеты прогреваются от наружной поверхности к центру неравномерно. Прогревшись, наружная поверхность брикета затвердевает. В процессе продолжающейся сушки влага, содержащаяся внутри брикета, испаряется, и выход паров через наружную отвердевшую поверхность сопровождается образованием пор. Если скорость сушки высокая, то интенсивный выход испаряющейся влаги образует трещины на поверхности топливного брикета.

Соответственно, температура сушки связана с геометрическими размерами формируемого композитного топлива: при изготовлении пеллет – от 20 до 80 °С, при производстве брикетов – не выше 40 °С. При этом температурный интервал для изготовления пеллет позволяет производителю самостоятельно определить температуру сушки. При высокой производительности предпочтительна повышенная температура до 80 °С, которая позволяет сократить время сушки. Более низкая температура (20 °С) не требует дополнительных затрат на осуществление сушки, но увеличивает продолжительность пребывания брикетов у производителя, требует помещения для их высушивания.

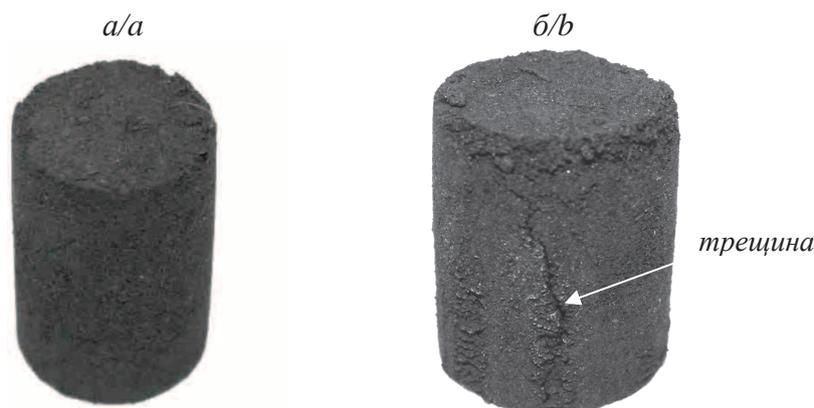


Рис. 4. Брикеты после сушки при: а) 20 °С; б) 80 °С

Fig. 4. Briquettes dried at: a) 20 °C; b) 80 °C

Выводы

1. Изложены основные принципы теплотехнологии получения композитного топлива из низкосортного сырья. Приведены результаты переработки низкосортного сырья Томской области в композитное топливо, в результате которой получаемое топливо имеет низшую теплоту сгорания, равную 13,1–29,4 МДж/кг, что сопоставимо с теплотой сгорания большинства бурых и каменных углей.
2. Исследована возможность придания влагостойкости композитного топлива за счет использования пиролизной смолы, получаемой при теплотехнологической переработке сырья: нанесение смолы на поверхность топлива и последующая сушка при температуре 20–40 °С позволяет обеспечить полную влагостойкость (водопоглощение композитного топлива равно нулю).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Энергетическая стратегия России на период до 2030 года. Утв. распоряжением Правительства РФ от 13 ноября 2009 г. № 1715-р. – 144 с.
2. Емешев В.Г., Паровинчак М.С. Без привозной энергетики // Нефтегазовая вертикаль. – 2005. – № 17. – С. 63–65.
3. Пугач Л.И. Качество энергетических углей. Влияние качества на экономику и технологию использования на ТЭС. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 1998. – 104 с.
4. Мяки А.Э. Истинные причины проблем отопления в северных регионах // Топливо-энергетический комплекс. – 2003. – № 2. – С. 95–98.
5. Федеральная программа «Энергообеспечение районов Крайнего Севера и приравненных к ним территорий, а также мест проживания коренных малочисленных народов Севера, Сибири и Дальнего Востока за счет использования нетрадиционных возобновляемых источников энергии и местных видов топлива». – М.: Министерство топлива и энергетики РФ, 1996. – 27 с.
6. Суржикова О.А. Проблемы и основные направления развития электроснабжения удаленных и малонаселенных потребителей России // Вестник науки Сибири. – 2012. – № 3 (4). – С. 103–108. URL: <http://sjs.tpu.ru/journal/article/view/362> (дата обращения: 13.07.2014).
7. Самылин А., Яшин М. Современные конструкции газогенераторных установок // ЛесПромИнформ. – 2009. – № 1. – С. 78–85.

3. Рассмотрена техническая реализация установки по производству композитного топлива согласно предложенной теплотехнологии, использующая шнековое оборудование для формирования.
4. Определены требуемые параметры сушки для различных типов композитного топлива цилиндрической формы: температура сушки при изготовлении пеллет – от 20 до 80 °С, брикетов – не выше 40 °С. При этом установлено, что более высокая скорость сушки приводит к образованию поверхностных пор и трещин, снижающих механическую прочность композитного топлива.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки РФ в рамках госзадания НИР (тема 13.948.2014/К).

8. Финансово-экономическое обоснование к проекту о внесении изменений в статью 17 федерального закона «О лицензировании отдельных видов деятельности». URL: [http://www.asozd2.duma.gov.ru/arhiv/a_dz_4.nsf/ByID/A2A61CF339907B57C3257249004BADA6/\\$File/%D0%A4%D0%AD%D0%9E.rtf?OpenElement](http://www.asozd2.duma.gov.ru/arhiv/a_dz_4.nsf/ByID/A2A61CF339907B57C3257249004BADA6/$File/%D0%A4%D0%AD%D0%9E.rtf?OpenElement) (дата обращения: 29.07.2013).
9. Парников Н.М. Повышение энергетической эффективности комплексов децентрализованного электроснабжения на примере Республики Саха (Якутия): дис. ... канд. техн. наук. – Томск, 2009. – 181 с.
10. Белосельский Б.С., Барышев В.И. Низкосортные энергетические топлива. – М.: Энергоатомиздат, 1989. – 136 с.
11. Белосельский Б.С. Технология топлива и энергетических масел. – М.: Изд-во МЭИ, 2005. – 348 с.
12. Сжигание в кипящем слое – перспективная технология для низкосортных топлив О.Н. Швердяев, В.М. Гвоздев, А.В. Пахомов, В.В. Желтова // Энергосбережение и водоподготовка. – 2010. – № 6. – С. 39–41.
13. Гравитационно-рециркуляционная вихревая топка для сжигания высокосольного топлива / Ю.О. Петрик, П.Т. Афанасьев, А.Р. Богомолов, Г.С. Козлова, П.В. Дадонов // Вестник Кузбасского государственного технического университета. – 2009. – № 2. – С. 136–139.
14. Studying the process through which gas is generated in independent power installations / A.S. Zavorin, A.V. Kazakov, A.A. Makeev, S.V. Podorov // Thermal engineering. – 2010. – № 1. – P. 77–82.

15. Technical review on thermochemical conversion based on decoupling for solid carbonaceous fuels / J. Zhang, R. Wu, G. Zhang, J. Yu, C. Yao, Y. Wang, S. Gao, G. Xu // *Energy and fuels*. – 2013. – № 4. – P. 1951–1966.
16. Industrial experience of heat supply by catalytic installations / A.D. Simonov, N.A. Yazykov, P.I. Vedyakin, G.A. Lavrov, V.N. Parmon // *Catalysis Today*. – 2000. – № 1. – P. 139–145.
17. Catalytic heat-generating units for industrial heating / A.D. Simonov, I.A. Fedorov, Y.V. Dubinin, N.A. Yazy'kov, V.A. Yakovlev, V.N. Parmon // *Catalysis in Industry*. – 2013. – № 1. – P. 42–49.
18. Григорьев В.А., Зорин В.М. Промышленная теплоэнергетика и теплотехника: справочник. – М.: Энергоатомиздат, 1991. – 588 с.
19. Русчев Д.Д. Химия твердого топлива. – Л.: Химия, 1976. – 254 с.
20. Nikolaeva L.A., Latyshev V.G., Burenina O.N. Fuel briquettes from brown coals of Yakutia // *Solid Fuel Chemistry*. – 2009. – Т. 43. – № 2. – С. 109–112.
21. Смольянинов С.И., Маслов С.Г. Термобрикети́рование торфа. – Томск: Изд-во Томского университета, 1975. – 108 с.
22. Исламов С.Р. Переработка низкосортных углей в высококалорийное топливо // *Уголь*. – 2012. – № 3. – С. 64–66.
23. Способ изготовления брикетного топлива: пат. 2375414 Рос. Федерация МПК C10L5/14; заявл. 02.09.2008; опубл. 10.12.2009. – 8 с.
24. Lurii V.G. Comparative results of the combustion of lignin briquettes and black coal // *Solid fuel chemistry*. – 2008. – № 6. – P. 342–348.
25. Петров Н. Евродрова // *ЛесПромИнформ*. – 2009. – № 1. – С. 86–88.
26. Передерий С. Топливные древесные брикеты как альтернатива другим видам твердого топлива // *ЛесПромИнформ*. – 2010. – № 6 (72). – С. 162–165.
27. Способ изготовления топливных брикетов из биомассы: пат. 2484125 Рос. Федерация МПК C10L5/44; C10L5/14; C10L5/26; C10F7/06; заявл. 16.04.12; опубл. 10.06.13. – 7 с.: ил.
28. Табакаев Р.Б., Казаков А.В., Заворин А.С. Перспективность низкосортных топлив Томской области для теплотехнологического использования // *Известия Томского политехнического университета*. – 2013. – Т. 323. – № 4. – С. 41–46.
29. Казаков А.В., Табакаев Р.Б., Плахова Т.М. Влияние связующих веществ на прочностные свойства топливных брикетов из торфа // *Теплофизические основы энергетических технологий: Сб. научных трудов II Всерос. научно-практ. конф.* – Томск: Изд-во ТПУ, 2011. – С. 222–225.
30. Заворин А.С., Казаков А.В., Табакаев Р.Б. Экспериментальные предпосылки к технологии производства топливных брикетов из торфа // *Известия Томского политехнического университета*. – 2012. – Т. 320. – № 4. – С. 18–22.

Поступила 14.07.2014 г.

UDC 662.815.4

SOLID COMPOSITE FUEL FROM LOW-GRADE RAW (TECHNOLOGICAL ASPECT)**Roman B. Tabakaev,**National Research Tomsk Polytechnic University, 30, Lenin Avenue,
Tomsk, 634050, Russia. E-mail: TabakaevRB@tpu.ru**Alexander V. Kazakov,**Cand. Sc., National Research Tomsk Polytechnic University, 30, Lenin Avenue,
Tomsk, 634050, Russia. E-mail: kazakov@tpu.ru**Alexander S. Zavorin,**Dr. Sc., National Research Tomsk Polytechnic University, 30, Lenin Avenue,
Tomsk, 634050, Russia. E-mail: zavorin@tpu.ru

The urgency of the discussed issue is caused by the need to involve local resources of low-grade raw materials in the fuel and energy balance. **The main aim of the study** is to summarize the results of heat-technology processing of low-grade raw materials, to develop technical solutions for producing solid composite fuel and to determine drying parameters depending on composite fuel sizes and forms.

The methods used in the study: Heat-technology processing of low-grade raw materials into solid composite fuel was carried out according to the Patent RF no. 2484125 «The method for producing fuel briquettes from biomass». Thermotechnical characteristics of low-grade raw materials of Tomsk region and composite fuel on its basis were determined in accordance with GOST R 52911–2008 «Solid mineral fuels. Methods for determination of total moisture», 11022–95 «Solid mineral fuels. Methods for determination of ash», 6382–2001 «Solid mineral fuel. Methods for determination of volatile matter yield», 147–95 «Solid mineral fuel. Determination of the highest combustion heat and calculation of the lowest combustion heat». Tests to determine water absorption of the composite fuel were conducted in accordance with GOST 21290–75 «Coal briquettes. Method for determination of water absorption». The mechanical characteristics of the composite fuel were determined according to GOST 21289–75 «Coal briquettes. Methods for determining the mechanical strength». Shape and size of the composite fuel was manufactured according to GOST R 54248–2010 «Peat briquettes and pellets for heating purposes. Specifications» in determining the parameters of drying.

The results. The paper introduces the basic principles of heat-technology of obtaining composite fuel from low-grade raw materials and the results of heat-technology processing low-grade raw in Tomsk region into solid composite fuel. The authors have studied the opportunity and parameters of composite fuel waterproofing owing to pyrolysis resin application. Technical implementation of composite fuel production installation according to the heat-technology was proposed and drying parameters for different sizes of cylindrical composite fuel were determined.

Key words:

Thermal energy, heat-technology, low-grade raw, solid composite fuel, moisture resistance, briquetting installation.

The research was financially supported by the Ministry of Education and Science of the Russian Federation within the state R&D task (subject 13.948.2014/K).

REFERENCES

1. *Energeticheskay strategiya Rossii na period do 2030 goda* [The Energy Strategy of Russia until 2030]. Approved by RF Government Decree of 13 November 2009, no. 1715-r, 144 p.
2. Emeshev V.G., Parovinchak M.S. Bez privoznoy energetiki [Without imported power engineering]. *Neftegazovaya vertical – Oil and Gas Vertical*, 2005, no. 17, pp. 63–65.
3. Pugach L.I. *Kachestvo energeticheskikh ugley. Vliyaniye kachestva na ekonomiku i tekhnologiyu ispolzovaniya na TES* [Quality of energy coal. Its influence on the economy and technology of applying on TPP]. Novosibirsk, NGTU Publ., 1998. 104 p.
4. Myaki A.E. Istinnyye prichiny problem otopeniya v severnykh regionakh [The true causes of heating problems in northern regions]. *Toplivno-energeticheskiy kompleks*, 2003, no. 2. pp. 95–98.
5. *Federalnaya programma «Energoobespecheniye rayonov Kraynego Severa i priravnennykh k nim territory, a takzhe mest prozhivaniya korennykh malochislennykh narodov Severa, Sibiri i Dalnego Vostoka za schet ispolzovaniya netraditsionnykh vozobnoopyaemykh istochnikov energii i mestnykh vidov topliva»* [Federal Program «Power supply of the Far North and equivalent areas, and places inhabited by indigenous peoples of the North, Siberia and the Far East through the use of renewable energy sources and local fuels»]. Moscow, Ministry of energy of the Russian Federation, 1996. 27 p.
6. Surzhikova O.A. Problemy i osnovnye napravleniya razvitiya elektrosnabzheniya udalennykh i malonaselennykh potrebiteley Rossii [Problems and main directions of power supply development of remote and sparsely populated Russian consumers]. *Siberian Journal of Science*, 2012, vol. 4, no. 3, pp. 103–108. Available at: <http://sjs.tpu.ru/journal/article/view/362> (accessed 7 July 2014).
7. Samylin A., Yashin M. Sovremennyye konstruksii gazogeneratornykh ustanovok [Modern Constructions of Gas-generator Plants]. *LesPromInform*, 2009, vol. 59, no. 1, pp. 78–85.
8. Finansovo-ekonomicheskoe obosnovaniye k proektu o vnesenii izmeneniy v statyu 17 federalnogo zakona «O litsenzirovaniy otdelnykh vidov deyatel'nosti» [Financial and economic substantiation of the project to amend Article 17 of the Federal Law «On licensing certain types of activities»]. Available at: [http://www.asozd2.duma.gov.ru/arhiv/a_dz_4.nsf/ByID/A2A61CF339907B57C325724_9004BADA6/\\$File/D0%A4%D0%AD%D0%9E.rtf?OpenElement](http://www.asozd2.duma.gov.ru/arhiv/a_dz_4.nsf/ByID/A2A61CF339907B57C325724_9004BADA6/$File/D0%A4%D0%AD%D0%9E.rtf?OpenElement) (accessed 7 July 2014).
9. Parnikov N.M. *Povysheniye energeticheskoy effektivnosti kompleksov detsentralizovannogo elektrosnabzheniya na primere Respubliki Sakha (Yakutiya)*. Dis. Kand. nauk [Increase of power efficiency systems for decentralized power supply on the Republic of Sakha (Yakutia)]. Tomsk, 2009. 181 p.

10. Beloselsky B.S., Baryshev V.I. *Nizkosortnye energeticheskie topliva* [Low-grade energy fuels]. Moscow, Energoatomizdat Publ., 1989. 136 p.
11. Beloselsky B.S. *Tehnologiya topliva i energeticheskikh masel* [Technology of fuel and energy oils]. Moscow, MEI Publ., 2005. 348 p.
12. Sheverdyayev O.N., Gvozdev V.M., Pakhomov A.V., Zheltova V.V. Szhiganiye v kipiyashchem sloe – perspektivnaya tekhnologiya dlya nizkosortnykh topliv [Fluidized bed combustion – a promising technology for low-grade fuels]. *Energoberezhenie i vodopodgotovka*, 2010, no. 6, pp. 39–41.
13. Petrik P.T., Afanasyev Yu.O., Bogomolov A.R., Kozlova G.S., Dadonov P.V. Gravitatsionno-retsirkulyatsionnaya vikhrevaya topka dlya szhiganiya vysokozolnogo topliva [Gravitational recirculating vertical furnace for combustion of fuel with high ash content]. *Bulletin KuzGTU*, 2009, no. 2, pp. 136–139.
14. Zavorin A.S., Kazakov A.V., Makeev A.A., Podorov S.V. Studying the process through which gas is generated in independent power installations. *Thermal engineering*, 2010, vol. 57, no. 1, pp. 77–82.
15. Zhang J., Wu R., Zhang G., Yu J., Yao C., Wang Y., Gao S., Xu G. Technical review on thermochemical conversion based on decoupling for solid carbonaceous fuels. *Energy and fuels*, 2013, vol. 27, no. 4, pp. 1951–1966.
16. Simonov A.D., Yazykov N.A., Vedyakin P.I., Lavrov G.A., Parmon V.N. Industrial experience of heat supply by catalytic installations. *Catalysis Today*, 2000, vol. 60, no. 1, pp. 139–145.
17. Simonov A.D., Fedorov I.A., Dubinin Y.V., Yazykov N.A., Yakovlev V.A., Parmon V.N. Catalytic heat-generating units for industrial heating. *Catalysis in Industry*, 2013, vol. 5, no. 1, pp. 42–49.
18. Grigoryev V.A., Zorin V.M. *Promyshlennaya teploenergetika i teplotekhnika: spravochnik* [Industrial power and thermotechnics: handbook]. Moscow, Energoatomizdat Publ., 1991. 588 p.
19. Rushev D.D. *Himiya tverdogo topliva* [Chemistry of solid fuels]. Leningrad, Khimiya Publ., 1976. 254 p.
20. Nikolaeva L.A., Latyshev V.G., Burenina O.N. Fuel briquettes from brown coals of Yakutia. *Solid fuel chemistry*, 2009, vol. 43, no. 2, pp. 109–112.
21. Smolyaninov S.I., Maslov S.G. *Termobriketirovanie torfa* [Thermobriquetting of peat]. Tomsk, Tomsk state university Press, 1975. 108 p.
22. Islamov S.R. Pererabotka nizkosortnykh ugley v vysokokaloriynoe toplivo [Processing of low-grade coal in high-energy fuel]. *Ugol – Coal*, 2012, vol. 1032, no. 3, pp. 64–66.
23. Shashmurin P.I., Andreykov E.I., Posokhov M.Yu., Kukuliev Ya.B., Stukov M.I., Zagaynov V.S. *Sposob izgotovleniya briketnogo topliva* [The method of manufacturing fuel briquettes]. Patent RF, no. 2375414, 2009.
24. Lurii V.G. Comparative results of the combustion of lignin briquettes and black coal. *Solid fuel chemistry*, 2008, vol. 42, no. 6, pp. 342–348.
25. Petrov N. Evrodroya [Euro-Firewood]. *LesPromInform*, 2009, vol. 59, no. 1, pp. 86–88.
26. Peredery S. Toplivnye drevesnye brikety kak alternativa drugim vidam tverdogo topliva [Wood Briquettes as an Alternative for Other Types of Solid Fossil Fuels]. *LesPromInform*, 2010, vol. 72, no. 6, pp. 162–165.
27. Tabakaev R.B., Zavorin A.S., Kazakov A.V., Plakhova T.M. *Sposob izgotovleniya toplivnykh briketov iz biomassy* [The method for manufacturing fuel briquettes from biomass]. Patent RF, no. 2484125, 2013.
28. Tabakaev R.B., Kazakov A.V., Zavorin A.S. Perspektivnost nizkosortnykh topliv Tomskoy oblasti dlya teplotekhnologicheskogo ispolzovaniya [Prospects of using low-grade fuels of Tomsk region for thermal technology use]. *Bulletin of the Tomsk Polytechnic University*, 2013, vol. 323, no. 4, pp. 41–46.
29. Kazakov A.V., Tabakaev R.B., Plakhova T.M. Vliyaniye svyazuyushchikh veshchestv na prochnostnye svoystva toplivnykh briketov iz torfa [Influence of binder on strength properties of fuel briquettes from peat]. *Sbornik nauchnykh trudov II Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii «Teplofizicheskie osnovy energeticheskikh tehnologiy»* (Proc. 2nd All-Russian Scien. and Pract. Conf. Thermo-physical basis of energy technologies). Tomsk, 2011. pp. 222–225.
30. Zavorin A.S., Kazakov A.V., Tabakaev R.B. Eksperimentalnye predposylki k tekhnologii proizvodstva toplivnykh briketov iz torfa [The experimental prerequisites to technique of producing fuel briquettes from peat]. *Bulletin of the Tomsk Polytechnic University*, 2012, vol. 320, no. 4, pp. 18–22.

Received: 14 July 2014.