



ПЕРСПЕКТИВЫ ТЕХНОЛОГИИ СОВМЕСТНОГО СЖИГАНИЯ БИОМАССЫ И УГЛЯ НА ОБЪЕКТАХ ЭНЕРГЕТИКИ

Е.С. Дремичева^{1*}, Э.Р. Зверева^{1**}, Ф.И. Бурганова¹, Л.О. Зверев²

¹Казанский государственный энергетический университет, г. Казань, Россия

²Санкт-Петербургский университет промышленных технологий и дизайна, Высшая школа технологий и энергетики, г. Санкт-Петербург, Россия

*lenysha@mail.ru, **6elvira6@list.ru

Резюме: ЦЕЛЬ. Биоэнергетика направлена на производство топлива биологического происхождения альтернативного природному органическому топливу. Биотопливо получают из растительного или животного сырья, из продуктов жизнедеятельности организмов, из промышленных отходов, из отходов сельского хозяйства и т.д. В статье изучены свойства каменного угля Кузнецкого бассейна с твердотопливными композициями из местных видов топлива и отходами производства органической природы (биомассы), а также возможность их совместного сжигания в котлах малой и средней мощности. МЕТОДЫ. Для решения поставленных задач в научной статье были использованы расчетный и эмпирический метод исследования – эксперимент. Экспериментальные исследования были проведены в лабораториях кафедры «Технологии в энергетике и нефтегазопереработке» ФГБОУ ВПО «Казанский государственный энергетический университет», в лабораториях филиала АО «Татэнерго» «Казанская ТЭЦ-1» и филиала ОАО ТКГ-16 «Казанская ТЭЦ-3». В качестве объектов исследования были выбраны: каменный уголь Кузнецкого угольного бассейна; торф месторождения Сосновое Республики Татарстан; древесные опилки, полученные после переработки лиственных пород деревьев; жмых из переработанных маслосемян на АО «Казанский маслоэкстракционный завод». В соответствии с действующими ГОСТ были определены влажность (ГОСТ Р 52911-2013), зольность (ГОСТ Р 55661-2013), и выход летучих веществ (ГОСТ Р 55661-2013) образцов топлив. Приведены результаты расчетных и экспериментальных исследований по теплоте сгорания; зольности, выхода летучих продуктов в композиции топлив при их совместном сжигании. Рассчитаны экономия природного топлива и предотвращенный экологический ущерб атмосфере и почве при совместном сжигании твердотопливных композиций. Разработана схема совместного сжигания угля и биомассы с последующей комплексной очисткой образующихся вредных газов озонно-аммиачным методом. ЗАКЛЮЧЕНИЕ. Торф и древесные опилки, обладая достаточно высокой теплотой сгорания и малой зольностью, являются перспективным топливом, при их совместном сжигании с каменным углем, для котельных малой и средней мощности в районах с низкой газификацией. Применение местных топливных ресурсов, альтернативных видов топлива позволит сократить расход природного ископаемого топлива, повысить экологическую безопасность предприятий топливно-энергетического комплекса, малой энергетики, обеспечить устойчивый рост валового национального продукта.

Ключевые слова: биотопливо, торф, уголь, зольность, выход летучих, теплота сгорания, совместное сжигание, очистка дымовых газов.

Для цитирования: Дремичева Е.С., Зверева Э.Р., Бурганова Ф.И., Зверев Л.О. Перспективы технологии совместного сжигания биомассы и угля на объектах энергетики ПРОБЛЕМЫ ЭНЕРГЕТИКИ. 2021. Т. 23. № 1. С. 119-130. doi:10.30724/1998-9903-2021-23-1-119-130.

PROSPECTS OF THE TECHNOLOGY OF JOINT COMBUSTION OF BIOMASS AND COAL AT ENERGY FACILITIES

ES. Dremicheva^{1*}, ER. Zvereva^{1**}, FI. Burganova¹, LO. Zverev²

¹Kazan State Power Engineering University, Kazan, Russia

²Saint Petersburg University of Industrial Technology and Design, Graduate School of Technology and Energy, St. Petersburg, Russia

*lenysha@mail.ru, **Gelvira6@list.ru

Abstract: *TARGET. PURPOSE.* Bioenergy is aimed at the production of biological fuels, alternative to natural fossil fuels. Biofuel is obtained from plant or animal raw materials, from the waste products of organisms, from industrial waste, from agricultural waste, etc. The article studies the properties of coal from the Kuznetsk Basin with solid fuel compositions from local fuels and organic waste (biomass), as well as the possibility of their co-combustion in boilers of low and medium power. *METHODS.* To solve the set tasks in the scientific article, a computational and empirical research method was used - experiment. Experimental studies were carried out in the laboratories of the Department of Technologies in Energy and Oil and Gas Processing of the Kazan State Power Engineering University, in the laboratories of the Kazan CHP-1 branch of Tatenergo and the Kazan CHP-3 branch of TKG-16. As objects of research were selected: coal of the Kuznetsk coal basin; peat from the Sosnovoye deposit of the Republic of Tatarstan; sawdust obtained after processing deciduous trees; cake from processed oilseeds at Kazan Oil Extraction Plant JSC. In accordance with the current GOST, humidity (GOST R 52911-2013), ash content (GOST R 55661-2013), and the yield of volatile substances (GOST R 55661-2013) of fuel samples were determined. The results of calculated and experimental studies on the heat of combustion are presented; ash content, the release of volatile products in the composition of fuels when they are co-fired. The saving of natural fuel and the prevented environmental damage to the atmosphere and soil during co-combustion of solid fuel compositions are calculated. A scheme has been developed for co-firing coal and biomass with subsequent complex purification of the resulting harmful gases by the ozone-ammonia method. *CONCLUSION.* Peat and sawdust, having a sufficiently high calorific value and low ash content, are a promising fuel, when combusted with coal, for boilers of low and medium power in areas with low gasification. The use of local fuel resources, alternative fuels will reduce the consumption of natural fossil fuels, increase the environmental safety of enterprises in the fuel and energy complex, small-scale energy, and ensure a sustainable growth of the gross national product.

Key words: biofuel, ash content, release of volatiles, heat of combustion, co-incineration, flue gas cleaning.

For citation: Dremicheva ES., Zvereva ER, Burganova FI, Zverev LO. Prospects of the technology of joint combustion of biomass and coal at energy facilities. *Power engineering: research, equipment, technology.* 2021;23(1):119-130. doi:10.30724/1998-9903-2021-23-1-119-130.

Введение

Целями Энергетической стратегии России до 2035 года является развитие технологического энергосбережения, переход от экспортно-сырьевого к ресурсно-инновационному развитию. При осуществлении энергетической политики особая роль отводится эффективному использованию местных видов топлива - торфа, древесины; отходов промышленных предприятий, агропромышленного комплекса [1–3]. Использование биотоплива в России и в мире является актуальной и перспективной задачей. Топливо биологического происхождения является альтернативой природному органическому топливу. Несомненными преимуществами биологического топлива является то, что имея соизмеримую с органическим топливом теплоту сгорания, оно может постоянно возобновляться [4].

Топливо биологического происхождения (твердое, жидкое или газообразное) образуется из различного сырья: растительного, животного сырья; отходов лесной промышленности (древесина) и сельского хозяйства (лузга, шелуха, солома, ботва, тростник); отходы жизнедеятельности животных и др.

Древесина и ее отходы являются одним из перспективных видов биотоплива. Площадь лесов России составляет около 8,09 млн. км² (первое место в мире), они покрывают 46,6% территории России. Доля лесопромышленного производства в промышленном комплексе России составляет порядка 4%. Около 1,4% вклада в ВВП России вносит лесной сектор экономики. Следовательно, можно сделать вывод о потенциале возможного использования отходов производства данных энергетических ресурсов для обеспечения генерации тепловой и электрической энергии.

Но прямое сжигание биомассы не всегда является эффективным, в связи с чем широкое распространение получили технологии производства твердого биотоплива. Большое количество отходов, образующихся в лесозаготовках, в процессе переработки древесины обладают ценным химическим составом, и являются сырьем для топливных гранул (пеллеты). Топливные пеллеты – экологически чистое топливо с содержанием золы не более 3%. Низшая теплота сгорания на сухую беззольную массу древесины и древесных гранул, произведенных из нее, имеет близкие значения. Гранулы менее подвержены самовоспламенению, что позволяет легко транспортировать их на большие расстояния. Топливные гранулы можно получить также из торфа и отходов сельского хозяйства [5-6].

В последние годы интерес к биологическому топливу существенно возрос, но, к сожалению, опыт работы промышленных котлов на биотопливе, рассчитанных на сжигание природного органического топлива оказался не совсем удачным. Перевод угольных, газовых и мазутных котлов на топливо биологического происхождения неизменно приводил к снижению паропроизводительности котлов, уменьшению КПД, к значительному увеличению выбросов загрязняющих веществ в окружающую среду, к загрязнению конвективных поверхностей нагрева котлов и др. В дальнейшем работы были направлены на адаптацию существующих котлов, и создание специализированных паровых и водогрейных котлов для сжигания альтернативного биологического топлива.

По мере развития технологии использования биотоплива использовались: вихревое сжигание; сжигание в кипящем, циркулирующем кипящем слое. Основными критериями выбора типа топочного устройства являются: размеры частиц; влажность; зольность температура горения, температура плавления золы биотоплива.

Существует положительный опыт эксплуатации котлов с вихревыми топками при использовании биотоплива. Благодаря аэродинамической схеме, в низкотемпературных вихревых топках происходит полное сжигание топлива, с одновременным уменьшением образования отложений, характерных для высокотемпературных топочных процессов [5].

Совместное сжигание природного ископаемого топлива и биомассы, представляется экономически и экологически целесообразным, так как снижаются выбросы углекислого газа, серы и оксидов азота, а также практически всегда можно перейти без дополнительных реконструкций и значительных инвестиций на моносжигание твердого топлива. Существует несколько способов совместного сжигания природного ископаемого топлива и биомассы. Это - прямое совместное сжигание, не прямое совместное сжигание и параллельное сжигание методом газификации биотоплива и подачи в котел генераторного газа. Газификация является перспективным способом сжигания торфа, в результате которого образуется генераторный горючий газ различного состава, служащий альтернативой природному газообразному топливу. Газификация, в отличие от прямого сжигания торфа, позволяет получить чистый газ с заданными определенными показателями качества. Генераторный горючий газ использоваться в котлах и в камерах сгорания газотурбинных установок. [5].

Материалы и методы

В статье рассмотрена возможность совместного использования каменного угля на примере каменного угля Кузнецкого угольного бассейна (ГОСТ 32356-2013) с торфом и биомассой: древесными опилками и подсолнечным жмыхом.

Торф – относят экологически чистым, местным видам органического топлива органический, экологически чистый материал, при его добыче, сжигании и хранении наносится минимальное технологическое воздействие на воздух, почву и воды. В России сосредоточено в среднем от 40 до 60% мировых запасов торфа. Основные торфяные залежи в Российской Федерации находятся и составляют: в Томской области порядка 30 % и порядка 12% в Вологодской области. Значительные залежи торфа находятся в Рязанской, Московской, Владимирской областях. Каждый год запасы торфа в России увеличиваются на 250 млн. тонн. Таким образом, в России есть хорошие перспективы в решении задач и проблем местной энергетики. В последние годы использование торфа для нужд энергетики значительно уменьшилось [1]. Уровень использования торфа не соответствует ни доступным для освоения топливным ресурсам, ни производственному потенциалу

торфяной отрасли. По энергетическому потенциалу торф в Российской Федерации превосходит суммарные запасы нефти и газа, и уступает только суммарным запасам угля [6]. Например, в Республике Татарстан сейчас официально разрабатывается лишь одно месторождение – «Лебяжье» для использования торфа в качестве удобрения, хотя в республике имеются до 30 000 га торфяных болот, из них 80% – 685 торфяных болот разведаны и исследованы. В настоящее время торф потерял свою актуальность как энергетическое топливо.

В энергетике применяются следующие виды торфяного топлива:

- фрезерный торф – это крошка, высушенного в полевых условиях топлива, и предназначенная для пылевидного сжигания;
- кусковой торф – оформленные и высушенные в полевых условиях крупные куски торфа;
- торфяные брикеты – фрезерный торф, куски которого спрессованы и высушены в искусственных условиях, и имеют установленную форму и размер;
- гранулированный торф – это переработанный, высушенный в искусственных условиях и спрессованный в гранулы [7-9].

Наряду с торфом в качестве местного сырьевого потенциала выступают отходы лесопромышленного комплекса и деревообработки – разновидность переработанной и измельченной древесины – древесные опилки. Опилки, являясь отходами деревообрабатывающей промышленности, нашли широкое применение для изготовления прессованных промышленных изделий; в строительстве, качестве мульчирующего материала; как субстрат для мицелий. Древесные опилки состоят из 27% лигнина, 70% целлюлозы, гемицеллюлозы. В Республике Татарстан имеется крупное предприятие по производству топливных, древесных пеллет – Сабинский лесхоз.

Жмых (шелуха от семечек) – получают путем отжима растительного масла на прессах различной конструкции из прошедших подготовку семян масличных культур (подсолнечника, рапса, рыжика, льна и др.), является концентрированным кормом для животных и прикормом для рыб с большим содержанием белка (15–40%), одним из компонентов комбикормов. Жмых состоит из воды (11%), протеина (40%), масла (6 — 9 %), клетчатки (5 %). В Республике Татарстан жмыхи из переработанных маслосемян получают на АО «Казанский маслоэкстракционный завод».

Жом (продукт переработки сахарной свеклы). Свекловичный жом является побочным продуктом производства свекловичного сахара, это обессахаренная свекловичная стружка с содержанием сухих веществ около 6,5-7,0%. Ежегодно в России на предприятиях агропромышленного комплекса, пищевых комбинатах образуются сотни миллионов тонн отходов сахарной свеклы. Частично, после соответствующей обработки жом используется на корм животным, в качестве минеральных удобрений, но подавляющая доля этих отходов накапливается, подвергается сжиганию или захоронению в свалках, что сопровождается значительными выбросами продуктов окисления в атмосферу, а также загрязнением почв и грунтовых вод, поэтому обезвреживание, утилизация продуктов переработки сахарной свеклы является важной и актуальной проблемой. Все эти отходы можно использовать для производства альтернативного топлива – биоэтанола или биогаза. Химический состав свежего свекловичного жома (в сухом веществе): целлюлоза (45-47 %), пектиновые вещества (50 %), белок (2 %), сахар (0,6-0,7 %) минеральные вещества (1 %), присутствуют витамины и органические кислоты. Основные производители жома сахарной свеклы в Татарстане – Буинский и Заинский сахарные заводы.

Биотопливо может стать достойным конкурентом природного ископаемого твердого твердого топлива, такого как уголь, антрацит, сланцы, и решает важную проблему утилизации отходов агропромышленного комплекса, пищевых производств [10-12].

Обсуждение результатов

Предложенная биомасса (торф, древесные опилки, подсолнечный жмых) по сравнению с природным ископаемым твердым топливом имеют меньшие значения низшей теплоты сгорания рабочей массы топлива, являющейся основной теплотехнической характеристикой любого вида топлива. В литературе, в различных источниках встречаются данных, которые значительно отличаются друг от друга, что вполне объяснимо, так как различные источники сырья, способы переработки и условия хранения. Поэтому была поставлена цель в рамках данной работы – провести экспериментальные исследования по определению теплоты сгорания топлива ($Q_{н}^p$) в лабораториях топлив и масел филиала АО «Татэнерго» «Казанская ТЭЦ-1» и филиала ОАО ТКГ-16 «Казанская ТЭЦ-3». В качестве объектов исследования были выбраны: каменный уголь Кузнецкого угольного бассейна; торф месторождения Сосновое Республики Татарстан; древесные опилки, полученные

после переработки листовых пород деревьев; жмых из переработанных маслосемян на АО «Казанский маслоэкстракционный завод».

В соответствии с действующими ГОСТ были определены влажность (ГОСТ Р 52911-2013), зольность (ГОСТ Р 55661-2013), и выход летучих веществ (ГОСТ Р 55661-2013) образцов топлив. Результаты исследований приведены в табл. 1.

Таблица 1

Технологические свойства топлива

Вид топлива	Низшая теплота сгорания рабочей массы топлива	Эквивалент условному топливу	Влажность рабочей массы топлива	Зольность рабочей массы топлива	Выход летучих веществ рабочей массы топлива
	МДж/кг		%	%	%
Условное топливо	29.33	1.0	—	—	—
Каменный уголь	26.66	0.91	30.0	9.0	45.0
Торф	11.5	0.39	67.05	3.0	93.3
Древесные опилки	19.63	0.67	9.95	0.7	89.09
Подсолнечный жмых	18.4	0.62	8.2	1.0	8.5

Были проведены экспериментальные исследования с целью изучения влияния количества биомассы в твердотопливной композиции при их совместном сжигании на зольность и выход летучих продуктов. Результаты экспериментальных исследований представлены на рис. 1-2.

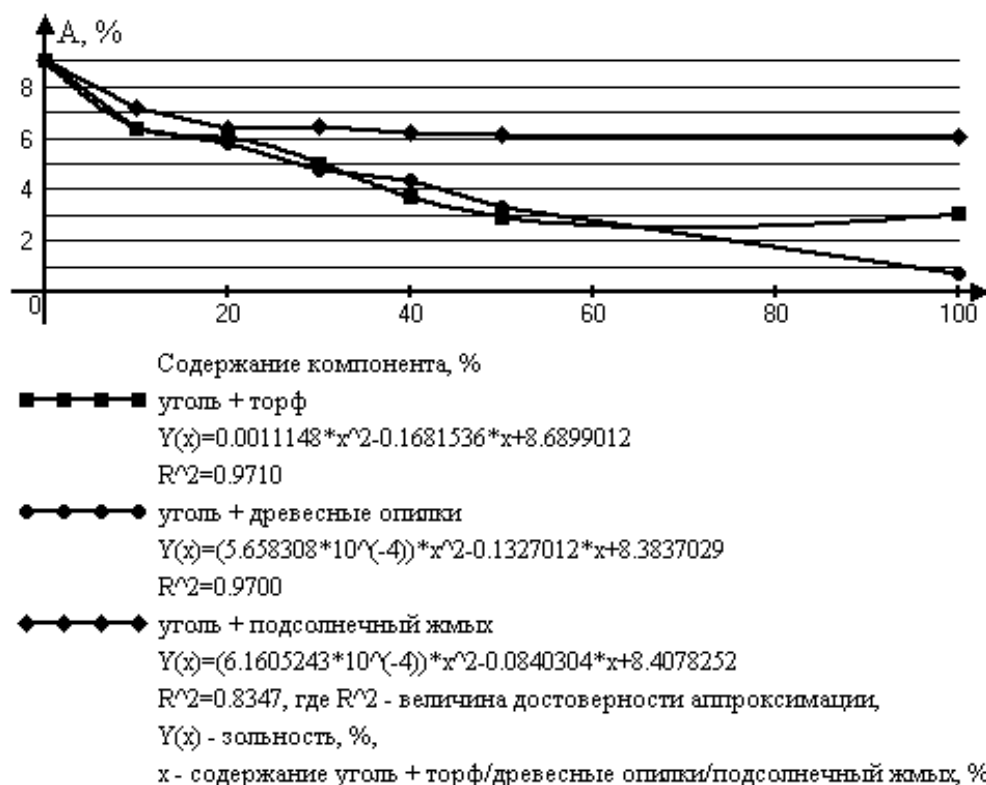


Рис. 1. Зольность при совместном сжигании каменного угля и биомассы при различной доле торфа и биомассы в общем балансе

Fig.1. Ash content in the co-combustion of coal and biomass with a different proportion of peat and biomass in the total balance

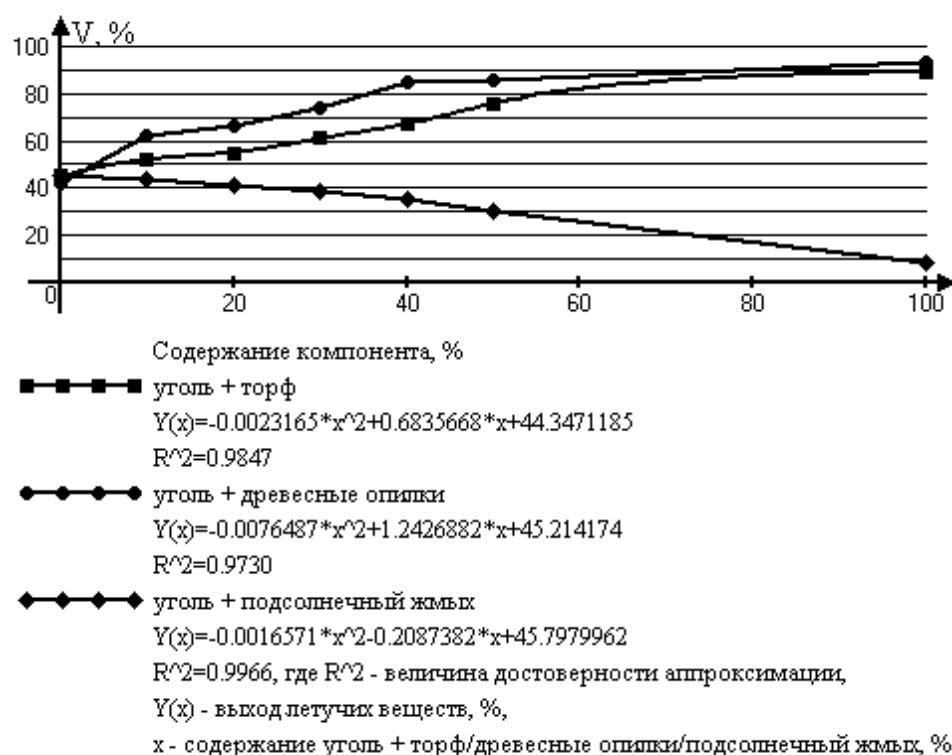


Рис. 2. Выход летучих веществ при совместном сжигании каменного угля и биомассы при различной доле торфа и биомассы в общем балансе

Fig.2. The yield of volatile substances in the co-combustion of coal and biomass with a different proportion of peat and biomass in the total balance

Из полученных результатов экспериментальных исследований можно сделать вывод, что добавление биомассы снижает зольность топлива на 22-70%; выход летучих продуктов будет увеличиваться в случае совместного использования угля с торфом и древесными опилками на 40-50%, при использовании жмыха, напротив, выход летучих веществ уменьшится на 20-22%, что вполне объяснимо при высоких значениях золы, образующейся при совместном сжигании угля с жомом.

При анализе полученных расчетных данных теплоты сгорания смеси топлив, пришли к выводу, что предельно допустимым значением содержание торфа, древесных опилок, жмыха в топливной смеси будет 20%, так как свыше данного значения теплота сгорания топливной смеси будет существенно снижаться, и следовательно это будет экономически невыгодно (рис. 3).

По полученным экспериментальным данным рассчитали экономию топлива при использовании топливной смеси. Для котельной производительностью 400000 Гкал/год расход каменного угля составит 62800 т/год при моносжигании, и 48960 т/год при совместном сжигании угля с торфом, древесными опилками или жмыхом.

В табл. 2 представлен расчет сжигания каменного угля с добавлением 20% торфа, древесных опилок, жмыха, в табл.3 представлен расчет необходимого количества топлива для котельной производительностью 400 000 Гкал/год при моносжигании топлив.

Таблица 2

Необходимое количество топлива для котельной производительностью 400 000 Гкал/год при совместном сжигании топлив

Показатель	Топливо			
	уголь	опилки	торф	жмых
Расход т/год	48960	16960	29120	18220
Цена, руб./т	6500	7000	6500	16000
Стоимость млн. руб./год	318.24	118.72	189.28	291.52

Таблица 3

Необходимое количество топлива для котельной производительностью 400 000 Гкал/год при
моносжигании топлив

Показатель	Топливо			
	Уголь	Опилки	Торф	Жмых
Расход т/год	62800	85300	145600	91100

Также была произведена оценка величины предотвращенного экологического ущерба от загрязнения атмосферного воздуха, и расчет предотвращенного ущерба от загрязнения почв и земель от золоотвалов объектов теплоэнергетики. В табл.4 представлены расчетные значения количества продуктов сгорания топлива SO₂, CO, NO₂, твердых частиц летучей золы, образующихся при сжигании угля, торфа, древесных опилок и подсолнечного жмыха.

На рис. 3 показаны расчетные значения низшей теплоты сгорания при совместном сжигании каменного угля с торфом и биомассой.

Таблица 4

Расчетные значения количества продуктов сгорания топлива

Вид топлива	Количество вредных веществ, выбрасываемых в атмосферу, т/год			
	SO ₂	CO	NO ₂	твердые вещества
Каменный уголь	660	748	192	1.2
Древесные опилки	99.87	3397	149.81	0.06
Торф	83.7	1063	263	0.23
Подсолнечный жмых	328	3285	435	0.19

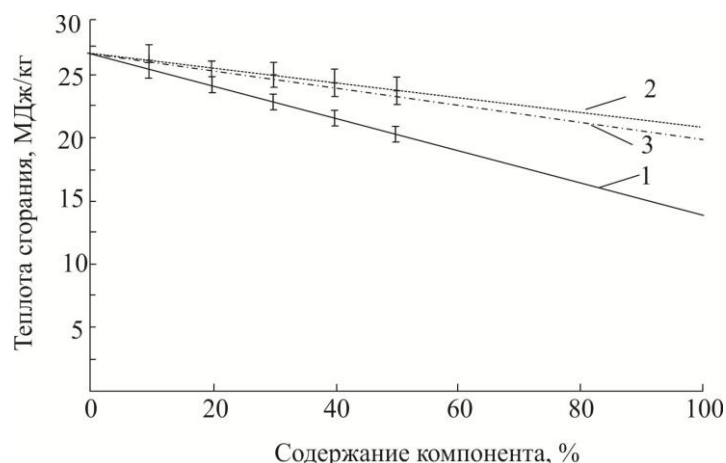


Рис. 3. Расчетные значения низшей теплоты сгорания при совместном сжигании каменного угля с торфом и биомассой: 1 – торф;

2 – древесные опилки; 3 – подсолнечный жмых

Fig.3. Calculated values of the lowest heat of combustion in the co-combustion of coal with peat and biomass: 1-peat;

2 – sawdust; 3-sunflower cake

Был проведен расчет на основе показателей удельного ущерба, представляющих собой удельные стоимостные оценки ущерба от выброса единицы (1 условной тонны) приведенной массы загрязняющих веществ, выбрасываемых в атмосферный воздух, для оценки величины предотвращенного экологического ущерба от загрязнения атмосферного воздуха стационарными и передвижными источниками выбросов по формуле (1), имеющей следующий вид:

$$Y_{\text{пр}}^a = Y_{\text{уд}} \sum MK_{\text{э}}, \quad (1)$$

где $Y_{\text{пр}}^a$ – предотвращенный экологический ущерб от загрязнения атмосферного воздуха выбросами от стационарных источников, тыс. руб.,

$M = \sum m_i K_{\Sigma i}$ – приведенная масса выбросов загрязняющих веществ в рассматриваемом регионе, усл.т., K_{Σ} – коэффициент экологической ситуации и экологической значимости состояния атмосферного воздуха территорий экономических районов России, m_i – масса выброса в атмосферной воздух i -го загрязняющего вещества, т/год; $K_{\Sigma i}$ – коэффициент относительной эколого-экономической опасности i -го загрязняющего вещества [13].

В табл. 4 приведены расчетные значения продуктов сгорания угля, торфа, древесных опилок и подсолнечного жмыха.

Однозначный вывод о преимуществе одного из трех топлива по данным табл. 4 сделать невозможно.

При сжигании угля образуется больше оксидов серы и твердых веществ, но существенно меньше количество углекислого газа. Количество окиси азота, образующейся при сжигании угля, больше, чем при сжигании древесных опилок, но меньше, чем при сжигании торфа и жмыха.

При сжигании торфа по сравнению с опилками и жмыхом образуется меньше оксидов серы и оксидов углерода, но больше оксидов азота.

При сжигании подсолнечного жмыха образуется большое количество оксидов азота и серы по сравнению с торфом и опилками, и соизмеримое количество оксида углерода при сжигании торфа. Поэтому подсолнечный жмых рекомендовать как альтернативу традиционному каменному углю нецелесообразно.

По приведенному расчету предотвращенного экологического ущерба, произведенному на альтернативной основе: уголь/опилки, уголь/торф и уголь/жмых, можно заключить, что по сравнению с углем и торф, и опилки равнозначны в отношении предотвращенного экологического ущерба.

Расчет предотвращенного ущерба от загрязнения почв и земель от золоотвалов объектов теплоэнергетики при сжигании каменного угля проводился по (2):

$$Y_{\text{пр}}^{\text{Д}} = H_{\text{с}} S K_{\Sigma} K_{\Pi}, \quad (2)$$

где $Y_{\text{пр}}^{\text{Д}}$ – предотвращенный в результате природоохранной деятельности экологический ущерб от деградации почв и земель, тыс. руб.,

$H_{\text{с}}$ – нормативная стоимость земель, тыс. руб./га;

S – площадь почв и земель, сохраненная от деградации, га;

K_{Σ} – коэффициент экологической ситуации и экологической значимости территории;

K_{Π} – коэффициент для особо охраняемой территории.

При условии, что получаемая при сгорании биомассы зола, может быть использована как удобрения в сельском хозяйстве и приусадебных участках, предотвращенный экологический ущерб расчет от загрязнения почв и земель при функционировании золоотвалов, являющихся неотъемлемой частью твердотопливных котельных, работающих на каменном угле, составит 58,3 млн. руб./год в ценах 2018 г.

Была разработана схема совместного сжигания угля и биомассы (рис. 4) с последующей комплексной очисткой образующихся вредных газов озонно-аммиачным методом (рис. 5).

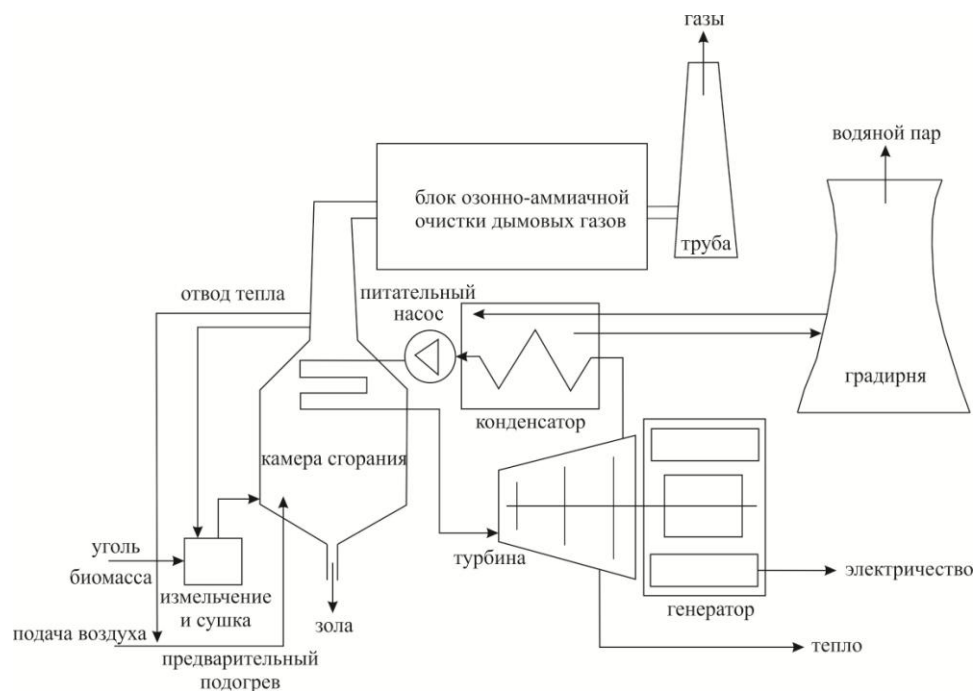


Рис. 4. Технологическая схема совместного сжигания угля с торфом и биомассой

Fig.4. Technological scheme of co-combustion of coal with peat and biomass

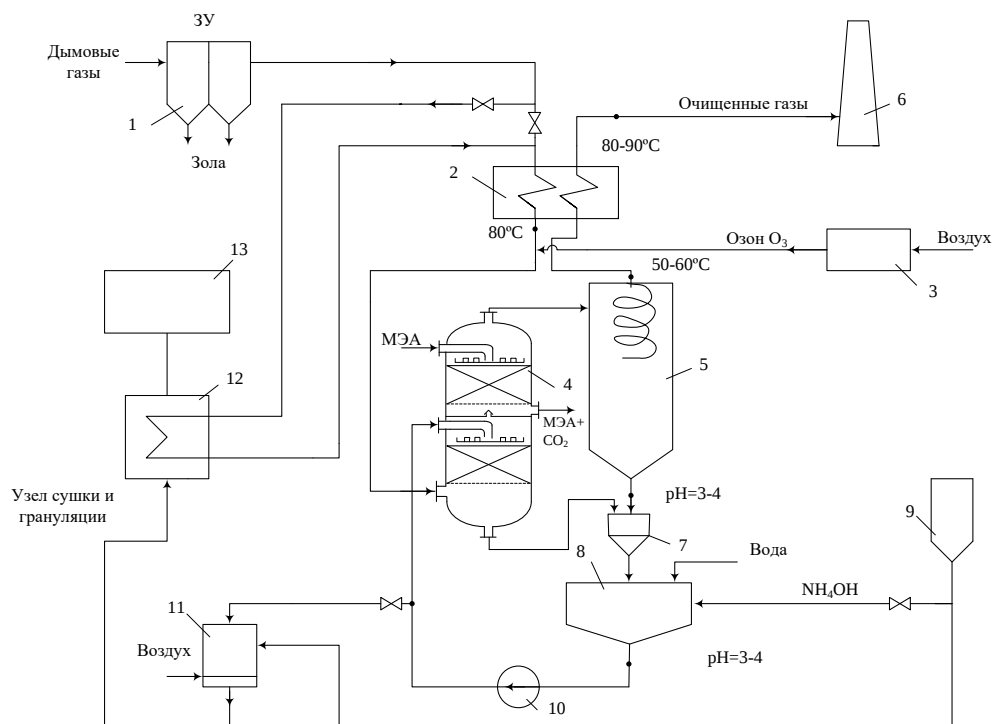


Рис. 5. Технологическая схема реализации озонно-аммиачного метода:

1–золоуловитель; 2–теплообменник; 3 – генератор озона; 4 – абсорбер; 5 – каплеуловитель; 6 – дымовая труба; 7 – гидрозатвор; 8 – циркуляционная емкость; 9 – бак; 10 – насос; 11 – реактор-окислитель; 12 – узел осушки и грануляции удобрений; 13 – склад готовой продукции

Fig.5. technological scheme of realization of the ozone-ammonia method:

1–ash collector; 2–heat exchanger; 3 – ozone generator; 4 – absorber; 5 – drip tray; 6 – chimney; 7 – water seal; 8 – ventilation capacity; 9 – tank; 10 – pump; 11 – reactor-oxidant; 12 – node drying and granulation of fertilizers; 13 – finished products warehouse

Дымовые газы, образующиеся при сжигании топлива, направляются на очистку в золоуловитель 1 и теплообменник 2, где происходит их охлаждение до температуры порядка 55 °С. Далее происходит окисление оксида серы SO_2 и оксида азота NO озонированным воздухом, производимым озонаторной станцией 3 до высших оксидов SO_3 ,

NO₂, N₂O₅. В абсорбере 4 происходит очистка от оксидов серы, оксидов углерода и диоксидов углерода. Абсорбер состоит из двух секций насадки и глухой тарелкой между ними. Дымовые газы поступают в абсорбер, проходят через секцию насадки, где происходит поглощение оксидов серы, оксидов азота технической водой. Через глухую тарелку дымовые газы проходят во вторую секцию аппарата, где происходит их очистка от диоксида углерода, путем поглощения раствором моноэтаноламина (МЭА).

Абсорбер работает в пленочном режиме. При малых скоростях газа отсутствует влияние газового потока на скорость стекания по насадке жидкой пленки и, следовательно, на количество задерживаемой в насадке жидкости. В каплеуловителе 5 направляются очищенные продукты сгорания, где происходит разделение потока, продукты сгорания подогреваются в теплообменнике до 80–90°C и выбрасываются в дымовую трубу 6 [13].

Заключение

Таким образом, и торф, и древесные опилки могут использоваться при совместном сжигании с традиционными твердыми топливами. Теплоты сгорания топлив соизмеримы между собой, но биологическое топливо доступнее природного ископаемого топлива в плане транспортирования от места добычи до потребителя. Относительно высокие теплота сгорания и малая зольность торфа и древесных опилок делают их перспективным топливом для нужд, в-первую очередь, малой энергетики. Не требуют значительной реконструкции и существенных инвестиций мероприятия по переводу котельных с угля на торф или древесные опилки. Следовательно, торф и древесные опилки можно рассматривать как альтернативный и доступный источник при совместном сжигании углей, способный уменьшить негативное экологическое воздействие на окружающую среду, отказаться от инвестиций в реконструкцию и строительство новых золошлакоотвалов [14–16].

Применение местных топливных ресурсов, альтернативных видов топлива позволит сократить расход природного ископаемого топлива, повысить экологическую безопасность предприятий топливно-энергетического комплекса, малой энергетики, обеспечить устойчивый рост валового национального продукта, сократить бюджетные расходы, и в конечном итоге, повысить энергобезопасность страны.

Литература

1. Панцхава Е.В., Шипилов М.М., Ковалев Н.Д. Биоэнергетика России: настоящее и будущее (биоэнергетика и политика) // Академия Энергетики. 2008. №3(23). С. 40-45.
2. Гревцев Н.В., Александров Б.М., Верхотуров И.М., и др. Технологические и геоэкологические аспекты использования торфа в энергетике // Известия высших учебных заведений. Горный журнал. 2012. №1. С. 17-21.
3. De França Lopes G., de Matos Jorge L.M., Paraíso P.R., et al. Dimethyl ether production from sugarcane vinasse: modeling and simulation for a techno-economic assessment // Bioenergy research. 2020. V. 13. N2. pp. 397-410.
4. Назаров В.И., Макаренков Д.А., Мавлюдова Я.А. Комплексные теплофизические исследования топливных гранул на основе растительных и древесных отходов и техногенного сырья // Кокс и химия. 2018. № 6. С. 43-48.
5. Ali S., Shafique O., Mahmood S., et al. Biofuels production from weed biomass using nanocatalyst technology // Biomass and bioenergy. 2020. V. 139. p.105595.
6. Малыгин П.В., Любов В.К. Характеристики топливных гранул из различных видов древесных пород // Химия твердого топлива. 2015. №5. С. 61–69.
7. White P.M., Webber C.L., Viator R.P., et al. Sugarcane biomass, dry matter, and sucrose availability and variability when grown on a bioenergy feedstock production cycle // Bioenergy research. 2019. V. 12. №1. pp. 5–67.
8. Зверева Э.Р., Шаронова Е.В., Лаптев А.Г. Расчет процесса газификации угля в неподвижном и псевдооживленном слое // Известия высших учебных заведений. ПРОБЛЕМЫ ЭНЕРГЕТИКИ. 2005. №5-6. С. 3-10.
9. Селеннов В.Г., Михайлов А.В. Торф в малой энергетике // Академия энергетики. 2009. №1(27). С. 48–56.
10. Тимофеева С.С., Мингалеева Г.Р. Перспективы использования торфа в региональной энергетике // Известия Томского политехнического университета. Техника и технологии в энергетике. 2014. Т. 325. № 4. С. 46–55.
11. Tolvanen H., Kokko L., Raiko R. Fast pyrolysis of coal, peat, and torrefied wood: Mass loss study with a droptube reactor, particle geometry analysis, and kinetics modeling // Fuel. 2013. N.111. pp. 148–156.

12. Korjajkins A., Toropovs N., Kara P., et al. Application of Peat, Wood Processing and Agricultural Industry Byproducts in Producing the Insulating Building Materials // *Journal of architecture and civil engineering*. 2013. V. 2. N.1. pp. 62–68.

13. Зверева Э.Р., Фарахов Т.М., Исхаков А.Р. Снижение вредных выбросов тепловых электростанций // *Вестник Казанского энергетического университета*. 2011. № 1(8). С. 39–44.

14. Кузьмин В.А., Заграй И.А., Десятков И.А. Исследование дисперсности и химического состава частиц в продуктах сгорания при сжигании газоторфяной смеси в паровом котле БКЗ-210-140Ф // *Известия вузов. ПРОБЛЕМЫ ЭНЕРГЕТИКИ*. 2016. №5-6. С. 55–64.

15. Дремичева Е.С., Гаврилов А.С., Маношин А.О. Оценка потенциала биотоплива для генерации тепловой энергии на объектах топливно-энергетического комплекса // *Промышленная энергетика*. 2017. №1. С. 55–60.

16. Дремичева Е.С. Энергетические свойства торфа, насыщенного нефтепродуктами // *Надежность и безопасность энергетики*. 2020. Т. 13. №2. С. 105–109.

Авторы публикации

Дремичева Елена Сергеевна – канд. техн. наук, доцент кафедры «Технологии в энергетике и нефтегазопереработке» (ТЭН), Казанский государственный университет.

Зверева Эльвира Рафиковна – д-р. техн. наук, профессор кафедры «Технологии в энергетике и нефтегазопереработке» (ТЭН), Казанский государственный университет.

Бурганова Фирюза Ильсуровна – соискатель кафедры «Технологии в энергетике и нефтегазопереработке» (ТЭН), Казанский государственный университет.

Зверев Леонид Олегович – студент Высшей школы технологий и энергетики СПбГУПТД, г. Санкт-Петербург.

References

1. Pantskhava EV, Shipilov MM, Kovalev ND. Bioenergetika Rossii: nastoyashchee i budushchee (bioenergetika i politika). *Akademiya Energetiki*. 2008;23(3):40-45.

2. Grevtsev NV, Aleksandrov BM, Verkhoturov IM, et al. Tekhnologicheskie i geoeologicheskie aspekty ispol'zovaniya torfa v energetike. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Gornyi zhurnal*. 2012;1:17-21.

3. De França Lopes G, de Matos Jorge LM, Paraíso PR, et al. Dimethyl ether production from sugarcane vinasse: modeling and simulation for a techno-economic assessment. *Bioenergy research*. 2020;13(2):397-410.

4. Nazarov VI, Makarenkov DA, Mavlyudova YA. Fuel Granules Based on Organic and Industrial Waste. *Coke and Chemistry*. 2018;61(6):230-233.

5. Ali S, Shafique O, Mahmood S, et al. Biofuels production from weed biomass using nanocatalyst technology. *Biomass and bioenergy*. 2020;139:105595.

6. Malygin PV, Lyubov VK. Characteristics of fuel granules from different wood species. *Solid Fuel Chemistry*. 2015; 49(5):326-334.

7. White PM, Webber CL, Viator RP, et al. Sugarcane biomass, dry matter, and sucrose availability and variability when grown on a bioenergy feedstock production cycle. *Bioenergy research*. 2019;12(1):5-67.

8. Zvereva ER, Sharonova EV, Laptev AG. Calculation of process of gasification of coal in motionless and pseudo fluid the layer. *Proceedings of higher educational institutions. ENERGY SECTOR PROBLEMS*. 2005;5-6:3-10.

9. Selenov VG, Mikhailov AV. Torf v maloi energetike. *Akademiya energetiki*. 2009; 27(1):48-56.

10. Timofeeva SS, Mingaleeva GR. Perspektivy ispol'zovaniya torfa v regional'noi energetike. *Izvestiya Tomskogo politekhnicheskogo universiteta. Tekhnika i tekhnologii v energetike*. 2014;325(4):46-55.

11. Tolvanen H, Kokko L, Raiko R. Fast pyrolysis of coal, peat, and torrefied wood: Mass loss study with a droptube reactor, particle geometry analysis, and kinetics modeling. *Fuel*. 2013; 111:148-156.

12. Korjamins A, Toropovs N, Kara P, et al. Application of Peat, Wood Processing and Agricultural Industry Byproducts in Producing the Insulating Building Materials. *Journal of architecture and civil engineering*. 2013;2(1):62-68.
13. Zvereva ER, Farakhov TM, Iskhakov AR. Snizhenie vrednykh vybrosov teplovykh elektrostantsii. *Vestnik Kazanskogo energeticheskogo universiteta*. 2011;8(1):39-44.
14. Kuzmin VA, Zagray IA, Desyatkov IA. Research of dispersity and chemical composition of particles in the combustion products at gas-peat mixture burning in the steam boiler BKZ-210-140F. *Proceedings of higher educational institutions. ENERGY SECTOR PROBLEMS*. 2016;5-6:55-64.
15. Dremicheva ES, Gavrilov AS, Manoshin AO. Otsenka potentsiala biotopliva dlya generatsii teplovoi energii na ob"ektakh toplivno-energeticheskogo kompleksa. *Promyshlennaya energetika*. 2017;1:55-60.
16. Dremicheva ES. Energeticheskie svoistva torfa, nasyshchennogo nefteproduktami. *Nadezhnost' i bezopasnost' energetiki*. 2020;13(2):105-109.

Author of the publication

Elena S. Dremicheva – Kazan State Power Engineering University, Kazan, Russia.

Elvira R. Zvereva – Kazan State Power Engineering University, Kazan, Russia.

Firyuza I. Burganova – Kazan State Power Engineering University, Kazan, Russia.

Leonid O. Zverev – Graduate School of Technology and Energy of the St. Petersburg State University of Industrial Technology and Design, St. Petersburg, Russia.

Получено

09 февраля 2021г.

Отредактировано

05 марта 2021г.

Принято

05 марта 2021г.