

УДК 620.92:662.73

ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТОРФА В РЕГИОНАЛЬНОЙ ЭНЕРГЕТИКЕ**Тимофеева Светлана Сергеевна,**

канд. техн. наук, мл. науч. сотр. лаб. моделирования систем производства энергии Исследовательского центра проблем энергетики
ФГБУН «Казанский научный центр РАН», Россия, 420111, г. Казань,
ул. Лобачевского, д. 2/31. E-mail: zvezdochka198512@mail.ru

Мингалеева Гузель Рашидовна,

д-р техн. наук, зав. лаб. моделирования систем производства энергии
Исследовательского центра проблем энергетики
ФГБУН «Казанский научный центр РАН», Россия, 420111, г. Казань,
ул. Лобачевского, д. 2/31. E-mail: mingaleeva-gr@mail.ru

Актуальность работы обусловлена необходимостью широкого применения торфа в условиях огромных запасов торфяных ресурсов и ежегодном возрастании цен на традиционные энергоносители. Целью работы является рассмотрение основных направлений использования торфа в различных отраслях промышленности и обоснование оптимального способа его применения в региональной энергетике на основе разработки схемы переработки торфа с использованием процесса газификации, позволяющей обеспечить автономность объекта. В работе рассмотрены существующие направления применения торфа с обобщением их по отраслям промышленности, наиболее перспективным из которых является использование торфяных ресурсов в региональной энергетике. Выбран и обоснован перспективный способ применения торфа в региональной энергетике на основе систем газификации, а также предложена схема переработки торфа. Проведен расчет состава генераторного газа для проб торфа одного типа и вида, но с различными качественными показателями и типами дутья. Методика расчета учитывает стадии подсушки торфа, термической деструкции и газификации торфяного кокса. В предложенной схеме газификация торфа осуществляется в поточном газогенераторе при высокой температуре и различных видах дутья. Полученные на основе газификации торфяных ресурсов электроэнергия и тепло могут направляться на технологические нужды линий производства торфяных гранул или пеллет. Разработанная схема позволяет обеспечить надежное и автономное тепло- и энергоснабжение комплексов или предприятий, производящих различные торфяные продукты, и в данном случае перерабатывающее предприятие становится автономным и энергонезависимым от централизованных энергосистем и дорогостоящих энергоносителей.

Ключевые слова:

Торф, технологии, энергетика, газификация, эффективность.

Россия обладает огромными запасами топливно-энергетических ресурсов, при этом основная доля использования в энергетике и промышленности приходится на природный газ, нефть, уголь. Поскольку в настоящее время в мире легкодоступные запасы данных топлив практически исчерпались, а цены на энергоносители возрастают, возникает проблема энергетической безопасности, которая может быть решена путем использования в энергетике и различных отраслях промышленности местных и возобновляемых источников энергии, таких как торф, горючие сланцы и различные виды биомассы. Таким образом, целью проводимых исследований является определение перспективных направлений использования торфа в качестве местного энергоресурса в наибольшей степени соответствующих условиям региональной энергетики, разработка схемы его термической переработки и расчет параметров процесса газификации.

Как отмечается в [1], торф является одним из наиболее важных и перспективных местных источников топлива. Торф – это возобновляемый энергетический ресурс, торфяные месторождения представляют собой естественные биологические системы, которые находятся в стадии непрерывного роста. Ежегодно в мире образуется порядка 3,0 млрд м³ торфа, что во много раз больше, чем до-

бывается и используется. Скорость накопления торфа зависит от метеорологических условий. В условиях России наращивание торфяной толщи идет в среднем со скоростью 1 мм в год. В площадях торфяных болот в 1,1 млн км² это более 1 млрд м³ ежегодно [2].

Мировые запасы торфа в единицах объема составляют около 600 млрд м³ (600 км³), при этом торф покрывает около 3 % суши. Россия обладает практически половиной запасов торфяных ресурсов, которые составляют в среднем 160–200 млрд т, что обеспечивает России 1 место по запасам торфа, и до 90-х гг. наша страна была лидером по его добыче и переработке. Почти треть от общего объема добытых торфяных ресурсов использовалась в энергетике и служила главным образом в качестве основного топлива на электростанциях, мощность которых при этом достигала около 3800 МВт [3].

В связи с этим торфяные ресурсы России имеют будущее для решения проблем местной энергетики и других отраслей промышленности. Энергетической стратегией [1] в ближайшие годы предусматривается увеличение объемов добычи торфа и модернизация технологической базы торфяной промышленности, что сделает возможным эффективное использование торфа в энергетической отрасли. Для достижения данных целей необходимы

разработка и внедрение современных высокоэффективных технологий для добычи и переработки торфа.

Распределение торфяных ресурсов по территории экономических районов РФ представлено в табл. 1.

Таблица 1. Распределение торфяных ресурсов по территории России

Table 1. Peat resource distribution in Russia

Экономический район Economic area	Общая площадь торфяных месторождений в границах промышленной залежи, млн га Total area of peat deposits within commercial reservoir, mn ha	Запасы торфа 40 % влажности, млрд т Peat reservoirs of 40 % humidity, BT
Северо-Западный Severo-Zapadny	8,9	19,8
Центральный Tsentralny	1,4	5,2
Центрально-Черноземный Tsentralno-Chernozemny	0,04	0,1
Волго-Вятский Volgo-Vyatskiy	0,5	2,0
Поволжский Povolzhsky	0,1	0,3
Уральский Uralsky	2,7	9,1
Западно-Сибирский Zapadno-Sibirsky	34,1	103,9
Восточно-Сибирский Vostochno-Sibirsky	3,1	4,0
Дальневосточный Dalnevostochny	5,7	5,2
Калининградская область Kaliningradskaya oblast	0,1	0,3

Практически все торфяные ресурсы, которыми обладает Россия, находятся в первозданном виде, в то время как другие страны не только активно пользуются этим богатством с целью применения в энергетике, сельском хозяйстве и промышленности, но и экспортируют торф и торфяные продукты. Лидерами по экспорту торфа и торфяной продукции являются Германия, Нидерланды, Бельгия, Канада, Латвия, Эстония, Ирландия, Литва и др. Причем во многих из них не ведется добыча торфа, но при этом в больших объемах перерабатывается импортированный из других стран торф в торфяные продукты различного назначения, которые затем отправляются на экспорт [4]. Россия на мировом рынке торфа и продуктов на его основе занимает менее 1 %.

В России до 90-х гг. торфяные ресурсы использовались достаточно интенсивно в различных отраслях. Около 27 % от всего добываемого торфа использовалось как топливо для сжигания в котельных и на тепло- и электростанциях, 73 % поступало на переработку и производство различной торфяной продукции сельскохозяйственного на-

значения. В сельском хозяйстве торф активно применялся для производства удобрений, как в чистом виде, так и в комплексе с другими компонентами, различных питательных грунтов, ростовых веществ, субстратных торфяных плит, торфяного дерна, торфяных горшочков и торфяных подстилок для животных. При этом значительные площади мелиорированных торфяных месторождений использовались для выращивания пропашных культур.

В связи с большим содержанием углеводов, битумов и гуминовых веществ торф оценивается как сырье с богатым химическим составом, что обуславливает его применение в химической отрасли промышленности. До 90-х гг. в СССР были разработаны и частично освоены технологические схемы с получением из торфа различных марок восков, гуминовых кислот, углеродных адсорбентов различного назначения, металлургического кокса, этилового спирта, фурфурола, глицерина, этиленгликоля, многоатомных спиртов, наполнителей полимеров, торфощелочных реагентов для буровой техники и промышленности строительных материалов, катализаторов, металлоуглеродных волокон, бумаги, органических красителей, ионообменных материалов и сорбентов селективного действия для улавливания вредных примесей из газовых и жидких сред.

В промышленных масштабах выпускался торфяной воск, который в результате глубокого изучения его природы, состава и свойств нашел широкое применение в точном литье по выплавляемым моделям, промышленности пластических масс, производстве товаров бытовой химии, медицинских препаратов, материалов для полиграфии, косметической промышленности.

В России были разработаны и проверены в промышленных условиях технологические схемы газификации торфа и получения на его основе жидких топлив [5–8].

Мировым лидером в производстве торфа в 2010 г. стала Финляндия, на втором месте Ирландия, на третьем месте Белоруссия, Россия занимает лишь 4-е место по объему добываемого торфа – в 2010 г. было добыто только 2,7 млн т [9].

В настоящее время в России торф занимает незначительную долю в топливном балансе страны (0,1 %), в то время как в Ирландии доля торфа в энергобалансе составляет 15 %, в Финляндии – 11 %, в Беларуси – более 4 % [10]. При этом в будущем планируется увеличение доли использования торфяных ресурсов в топливно-энергетической отрасли до 8–10 % [1].

В Финляндии, Норвегии, Швеции, Ирландии, Германии, Белоруссии торф применяется в качестве основного и дополнительного топлива на электростанциях, в промышленности, в сельском хозяйстве, строительстве и медицине. Из торфа получают различные виды топлива (торфяные гранулы, пеллеты), металлургический кокс, активированный уголь, фильтрующие элементы и сорбен-

ты, органические удобрения, а также используют в производстве косметики, при озеленении придорожных и городских территорий.

В настоящее время использование торфа без подготовки сдерживается такими факторами как сезонность добычи, высокая влажность, необходимость предварительного обезвоживания, низкая теплота сгорания, самовозгорание [10].

Рациональное использование торфа предусматривает его комплексную переработку с применением малоотходных технологий. Торф при этом может служить сырьем для получения целого ряда ценных материалов и продуктов. Некоторые современные направления использования торфа представлены на рис. 1. Хотелось при этом отметить, что существуют и другие направления применения торфа, в настоящее время за рубежом и в России ведутся активные научные разработки по данной тематике [11–15].

В энергетике торф является перспективным местным источником получения тепловой и электрической энергии. Если для производства различной продукции в сельском хозяйстве, в химической отрасли и медицине может использоваться только торфяное сырье определенного состава и качества, то в качестве энергетического топлива применимы практически все типы и виды торфа. Зола, образующаяся при сгорании или термохимической переработке торфа, практически не требует дополнительной обработки и может быть использована в строительстве в производстве бетона или в сельском хозяйстве при получении удобрений.

По сравнению с другими энергетическими ресурсами для торфа характерны равномерное распределение по территории и доступность, что снижает его расходы на транспорт и перевозку и опре-

деляет его качества как местного топлива. Торф при этом может служить для производства жидких и газообразных топлив, конкурентоспособных нефти и газу, а также для получения активированного угля, кокса, полукокса и топливных композиций (гранул, брикетов), которые в настоящее время получают все большее распространение в связи с использованием в современных энергетических установках [15–18]. По сравнению, например, с углем при сжигании торфа выбросы CO_2 сокращаются в 4–8 раз, твердых взвешенных частиц в 2–6 раза, а в условиях использования торфяных ресурсов как местного топлива снижаются выбросы, которые сопровождают транспортировку твердого топлива [16].

Наличие достаточно равномерно распределенных запасов торфа в России дает широкие возможности для развития региональной энергетики на основе местного топлива, при этом генерирующие мощности могут использоваться как независимо от централизованной энергосистемы, так и служить в качестве резервных [19–21]. Необходимо отметить, что при активном вовлечении торфяных ресурсов в энергетику решается задача пожаробезопасности на территориях торфоразработок.

Перспективным направлением использования торфяных ресурсов является газификация, посредством проведения данного процесса можно получить горючие газы различного состава и назначения, которые могут служить альтернативой природному газу. Газификация по сравнению с прямым сжиганием торфа позволяет получить чистое газообразное топливо с определенными показателями качества, которое может использоваться как в котлах, так и в камерах сгорания газотурбинных установок.

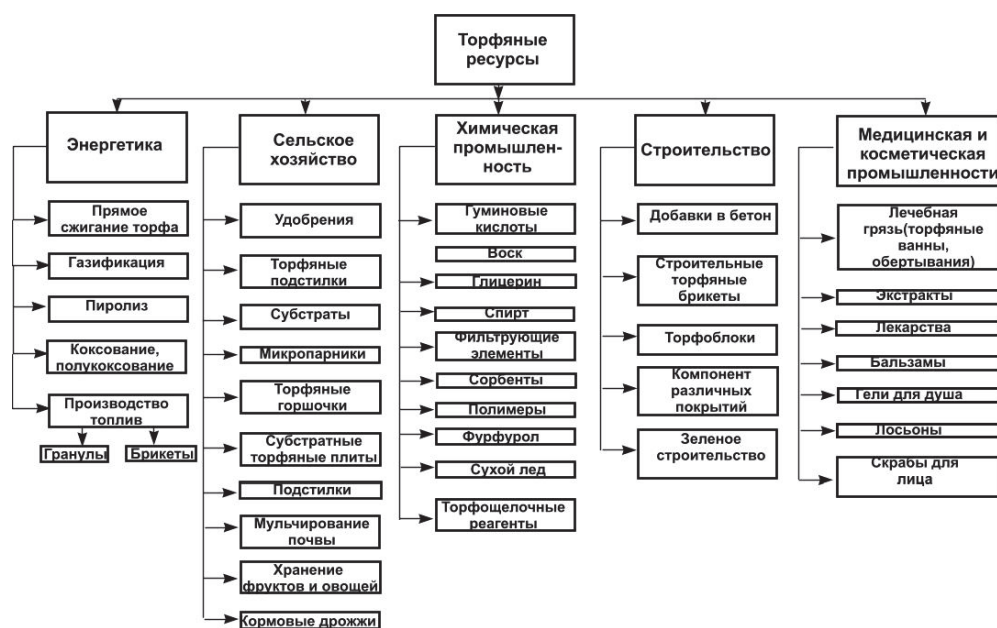


Рис. 1. Направления использования торфа в различных отраслях промышленности

Fig. 1. Ways of applying peat in various branches of industry

В развитых странах технологии газификации различных топлив активно внедряются на энергетических и химических предприятиях. Перспективным является направление применения технологии газификации в парогазовых циклах с получением тепловой и электрической энергии [22–25]. В России в настоящее время технологии газификации твердых топлив носят опытно-промышленный характер.

В советские годы в России и за рубежом были разработаны несколько таких способов газификации торфяного сырья, которые могли осуществляться в различных аппаратах, и были предназначены как для сжигания полученного газа в камерах сгорания энергетических установок, так и для использования в двигателях внутреннего сгорания [5, 8]. В России газификация торфа широко применялась в 1930–1960 гг. прошлого века на металлургических и стекольных заводах. С развитием газовой и нефтегазовой отрасли многие объекты промышленности и энергетики были переведены на жидкое топливо, и газификация торфа как технология была прекращена [26].

В настоящее время исследования по газификации возобновились и посвящены в основном разработке новых способов и изучению процессов получения газов с высокой теплотворной способностью из боль-

ших объемов торфа с разными показателями, в том числе с высоким содержанием влаги и золы, а также направлены на разработку компактных газогенераторов и создание высокоэффективных схем с такими аппаратами [27]. Некоторые известные способы газификации представлены в табл. 2. Выход сухого газа из торфа составляет в среднем $3,0 \text{ нм}^3/\text{кг}$ при средней теплотворной способности $5000\text{--}5300 \text{ кДж/нм}^3$.

Выбор того или иного способа газификации торфа должен осуществляться с учетом всех требований к исходному топливу, назначению генераторного газа и методам его очистки. Режим работы газогенератора зависит от качества торфяного топлива, а состав и качество получаемого газа зависит как от характеристик исходного сырья, так и от вида и способа подачи дутья, температуры и давления процесса, а также мощности газогенератора.

Для торфа характерны высокие показатели влажности, а непрочность и распад его на куски вызывает унос пыли с газами и засорение газогенератора. Решить данные проблемы можно путем применения поточной газификации пылевидного торфа. Данный способ позволяет применять не только низкосортное топливо с различными показателями качества, но и получать достаточно калорийный газ, обеспечивая высокую производительность газогенераторной установки [5, 28]. Как пра-

Таблица 2. Технологии газификации торфа

Table 2. Peat gasification techniques

Технология Technique	Режимные параметры процесса Process operating conditions	Вид используемого топлива Fuel type	Дутье Air blasting	Средний состав газа, % Gas average composition, %	Низшая теплотворная способность газа, кДж/нм^3 Lowest gas heating power, kJ/nm^3
Газификация пылевидного торфа (КПД=66–67 %) Dried peat powder gasification (Efficiency=66–67 %)	$T=700\text{--}1000 \text{ }^\circ\text{C}$	Пылевидный торф с $W=5\text{--}25 \text{ \%}$ Dried peat powder	Воздушное Air	$\text{CO} - 16,4$ $\text{H}_2 - 12,6$ $\text{CO}_2 - 11,2$ $\text{C}_n\text{H}_m - 0,6$ $\text{CH}_4 - 2,9$ $\text{N}_2 - 56,1$	4000–6000
Газификация пылевидного торфа по способу Lurgi–Ruhrgas Lurgi–Ruhrgas gasification of dried peat powder	Процесс аллотермический (гранулы из Al_2O_3) Allothermal process (granules of Al_2O_3)	Пылевидный торф Dried peat powder	Паро-воздушное Steam-air	$\text{CO} - 13$ $\text{H}_2 - 17,2$ $\text{CO}_2 - 16,6$ $\text{C}_n\text{H}_m - 0,3$ $\text{CH}_4 - 2,3$ $\text{H}_2\text{S} - 0,0018$ $\text{N}_2 - 50,6$	14600
Газификация в кипящем слое (КПД=54–76 %) Gasification in boiling bed (Efficiency=54–76 %)	$T=750\text{--}900 \text{ }^\circ\text{C}$	Фрезерный торф с $W=10\text{--}15 \text{ \%}$ Milled peat with $W=10\text{--}15 \text{ \%}$	Паро-воздушное, паровоздушное, обогащенное кислородом, парокислородное Oxygen enriched steam-air blasting, steam-oxygen	Паро-воздушный газ Steam-air gas $\text{CO} - 13$ $\text{H}_2 - 17,2$ $\text{CO}_2 - 16,6$ $\text{C}_n\text{H}_m - 0,3$ $\text{CH}_4 - 2,3$ $\text{H}_2\text{S} - 0,0018$ $\text{N}_2 - 50,6$	4400–9200
Каталитическая газификация Catalytic gasification	Низкотемпературный процесс (например, катализаторы на основе палладия) Low-temperature process (eg. palladium-based catalysts)	Фрезерный торф Milled peat	Паро-воздушное, паро-кислородное Steam-air, steam-oxygen	–	6240–6650 (паро-воздушное дутье), 9500 (паро-кислородное дутье) 6240–6650 (steam-air blasting), 9500 (steam-oxygen blasting)

вило, технологическая схема с поточными газогенераторами включает в себя дополнительную систему подготовки топлива, которая состоит из различного сушильно-мельничного оборудования.

Авторами был проведен расчет состава генераторного газа, получаемого при газификации пылевидного торфа в поточном аппарате, с использованием ранее разработанной методики расчета основных параметров газификации угля в газогенераторе поточного типа [29]. Расчеты проводились для процесса газификации пылевидного торфа с влажностью $W_{пл}=12,5\%$ (проба 1) и $W_{пл}=24,5\%$ (проба 2). В качестве исходного сырья был выбран торф низинного типа, тростниковой вида. Характеристики торфа представлены в табл. 3 [5].

При расчетах полагалось, что процесс газификации протекает в поточном аппарате с воздушным дутьем при температуре около $1000\text{ }^{\circ}\text{C}$ и атмосферном давлении. Отношение O/N принималось стандартным $21/79$, расход дутья при $12,5\%$ влажности составлял $2,44\text{ нм}^3/\text{кг}$, при $24,5\%$ – $2,33\text{ нм}^3/\text{кг}$.

Таблица 3. Характеристики торфа

Table 3. Peat features

Проба Sample	Состав горючей массы, % Combustible mass composition, %				Влажность, % на рабочую массу Humidity, % per working mass	Зольность, % на рабочую массу Ash content, % per working mass	Низшая теплота сгорания, кДж/кг на рабочую массу Lowest calorific capacity, kJ/kg per working mass	Выход летучих, V, % Volatile content, V, %
	C	H	O	N				
1	55,8	5,6	36,1	2,5	12,5	10	16044	70
2	61,1	6,1	30,2	2,6	24,5	16	12524	70

Газификация торфа в поточном газогенераторе рассматривается как совокупность трех основных процессов:

- 1) подсушки топлива с выделением влаги;
- 2) термической деструкции торфяного вещества с выделением летучих и образованием коксового остатка;
- 3) газификации коксового остатка с реагированием летучих.

При расчете составляются балансовые уравнения по выходу основных компонентов генераторного газа с учетом характеристик торфа и дутья.

Расчет состава и теплотворной способности генераторного газа осуществляется следующим образом.

Процесс образования генераторного газа из топлива должен подчиняться уравнению сохранения вещества, согласно которому масса химического элемента в генераторном газе должна равняться массе элемента в исходном топливе:

$$\sum_{s=1}^S a_{is} \cdot \mu_s + \mu_{A(i)} = \eta_t \cdot b_t,$$

где a_{is} – атомы химических элементов генераторного газа; μ_s и $\mu_{A(i)}$ – число молей молекулярных веществ и атомарного вещества в генераторном газе; η_t – число молей топлива; b_t – атомы химических элементов топлива.

Углерод, содержащийся в горючей массе торфа, расходуется на образование оксида и диоксида углерода, метана, поэтому его баланс записывается следующим образом:

$$\frac{g_t \cdot C^r}{M_C} = v_{CO} + v_{CO_2} + v_{CH_4},$$

где g_t – масса торфа, кг; C^r – содержание углерода в горючей массе торфа, кг; M_C – молекулярная масса углерода, кг/моль; v_{CO} , v_{CO_2} , v_{CH_4} – содержание CO , CO_2 , CH_4 соответственно, моль.

Водород, входящий в состав горючей массы торфа и во влагу торфа, расходуется на образование водорода, водяного пара и метана, следовательно, баланс водорода представляется в следующем виде:

$$\frac{g_t \cdot H^r}{M_{H_2}} + \frac{W_t}{M_{H_2O}} = v_{H_2} + v_{H_2O} + 2v_{CH_4},$$

где H^r – содержание водорода в горючей массе торфа, кг; W_t – содержание влаги в торфе, кг; M_{H_2} – молекулярная масса водорода, кг/моль; M_{H_2O} – молекулярная масса H_2O , кг/моль; v_{H_2O} – содержание H_2O , моль.

Кислород, входящий в состав горючей массы и влагу торфа, а также в воздушное дутье, расходуется на оксид и диоксид углерода и водяной пар, поэтому баланс кислорода записывается следующим образом:

$$\frac{g_t \cdot O^r}{M_{O_2}} + \frac{O_w}{M_{H_2O}} + \frac{0,266 \cdot N_2}{M_{O_2}} = v_{CO} + 2v_{CO_2} + v_{H_2O},$$

где O^r – содержание кислорода в горючей массе торфа, кг; M_{O_2} – молекулярная масса O_2 , кг/моль; N_2 – содержание азота в воздухе, кг;

Азот, содержащийся в торфе и в воздухе, расходуется при газификации на азот в генераторном газе:

$$\frac{g_t \cdot N^r}{M_{N_2}} + \frac{3,76O_2}{M_{N_2}} = v_{N_2},$$

где N^r – содержание азота в горючей массе торфа, кг; M_{N_2} – молекулярная масса азота, кг/моль; v_{N_2} – содержание азота в газе, моль.

Затем составляются основные реакции газификации, и определяются константы равновесия K в зависимости температуры газификации по справочным данным [30, 31]:

$$K_1 = \frac{v_{CO}^2}{v_{CO_2}}.$$

$$K_2 = \frac{v_{CO} \cdot v_{H_2O}}{v_{CO_2} \cdot v_{H_2}}.$$

$$K_3 = \frac{v_{CH_4}}{v_{H_2}^2}.$$

Теплотворная способность генераторного газа $Q_{гр}$ определяется из следующего выражения:

$$Q_{гр} = 0,01(Q_{CO} \cdot x_{CO} + Q_{H_2} \cdot x_{H_2} + Q_{CH_4} \cdot x_{CH_4}),$$

где Q_{CO} – теплота сгорания CO (12640 кДж/м³); Q_{H_2} – теплота сгорания H₂ (10790 кДж/м³); Q_{CH_4} – теплота сгорания CH₄ (35880 кДж/м³); x_{CO} , x_{H_2} , x_{CH_4} – содержание в генераторном газе компонентов CO, H₂, CH₄ соответственно, %.

Результаты расчета состава летучих компонентов и генераторного газа представлены в табл. 4.

Таблица 4. Состав генераторного газа при различном дутье
Table 4. Exhaust gas composition at different blasting

Дутье Blasting	Состав генераторного газа, % по массе Exhaust gas composition, mass %				
	CO	CO ₂	H	CH ₄	N ₂
Паровоздушное ($W_r=12,5\%$) Steam-air ($W_r=12,5\%$)	11,9	17,3	14,9	2,29	53,7
Паровоздушное ($W_r=24,5\%$) Steam-air ($W_r=24,5\%$)	18	15,5	8,1	1,8	56,6
Парокислородное ($W_r=12,5\%$) Steam-oxygen ($W_r=12,5\%$)	23,3	4,9	69,8	1,8	0,13

Полученные результаты сравнивались с экспериментальными данными по газификации торфа [5], при этом разница в значениях теплотворной способности составила при $W_r=12,5\%$ – 4 %, при $W_r=24,5\%$ – 6,7 %. Также были проведены расчеты для процесса газификации на парокислородном дутье, результаты которых показали, что в случае применения такого дутья теплотворная способность увеличивается в среднем в 2 раза и составляет около 9000–9500 кДж/нм³ за счет увеличения выхода главным образом водорода. При воздушном дутье значения калорийности газа составляют 3500–4000 кДж/нм³.

Таким образом, анализ рассмотренных материалов по различным направлениям применения торфяных ресурсов позволяет сделать вывод о том, что торф является ценным ресурсом с богатым энергетическим, химическим и промышленным потенциалом. При этом использование торфа как местного энергетического ресурса целесообразно в непосредственной близости от места его добычи и возможно по двум направлениям:

- получение горючего газа на основе систем газификации с производством тепловой и электрической энергии;
- производство торфяных продуктов на основе собственного энергообеспечения с применением систем газификации на торфе.

Авторами была разработана схема производства тепловой и электрической энергии с газификацией торфа, которая может быть применена в технологических схемах получения различных торфяных продуктов, например гранул (рис. 2).

В отличие от существующих схем разработанная отличается тем, что общая схема производства торфяных продуктов предполагает комплексную переработку торфа, и энергоснабжение основного оборудования осуществляется также за счет торфяных ресурсов, а не за счет дорогостоящих теплоносителей, поступающих на предприятие извне.

Рассмотрим принцип работы предлагаемой схемы.

Функционально данная схема производства энергии состоит из энергетической и интегрированной с нею газификационной частей и комплектуется из типового оборудования за исключением газогенератора.

Схема подготовки торфа состоит из следующих основных блоков: подготовки торфа, подготовки окислителя и газификации. В блоке подготовки торфа осуществляется сушка топлива и пылеприготовление в сушильно-мельничной установке. В качестве основного оборудования в зависимости от вида и свойств используемого торфа подбирается основное оборудование блока. В качестве сушильного агента может применяться как горячий воздух, так и азот, полученный при разделении воздуха в блоке подготовки окислителя.

Выбор того или иного окислителя зависит от исходных свойств торфа и требуемого состава, и теплотворной способности генераторного газа. В данной схеме газификации осуществляется с применением парокислородного дутья, и в качестве окислителей в предлагаемой схеме может применяться как кислород, так и смесь кислорода с паром, поэтому для разделения воздуха используется воздухоразделительная установка. Блок подготовки окислителя включает в себя воздухоразделительную установку для получения кислорода для газификации торфа, смесители для смешивания получаемого кислорода и водяного пара, который отбирается из общего количества выработанного пара системой производства энергии. Окислитель подогревается в теплообменнике и подается на горелочные устройства газогенератора вместе с торфяной пылью из блока подготовки топлива в блок газификации. В случае применения воздушного дутья система подготовки окислителя упрощается и будет включать в себя вентиляторы, смесители и теплообменники.

Блок газификации включает в себя поточный газогенератор вертикального типа. В газогенераторе может осуществляться газификация торфяной пыли при высокой температуре и атмосферном или повышенном давлении.

Полученный генераторный газ поступает в систему пылегазоочистки, где очищается от примесей в циклонах, фильтрах, а также охлаждается в газоохладителе. Очищенный генераторный газ направляется в блок производства энергии, где сжигается в камере сгорания газотурбинной установки. Для выработки пара используется котел-утилизатор.

Полученная в данной схеме электроэнергия и тепло могут направляться на технологические

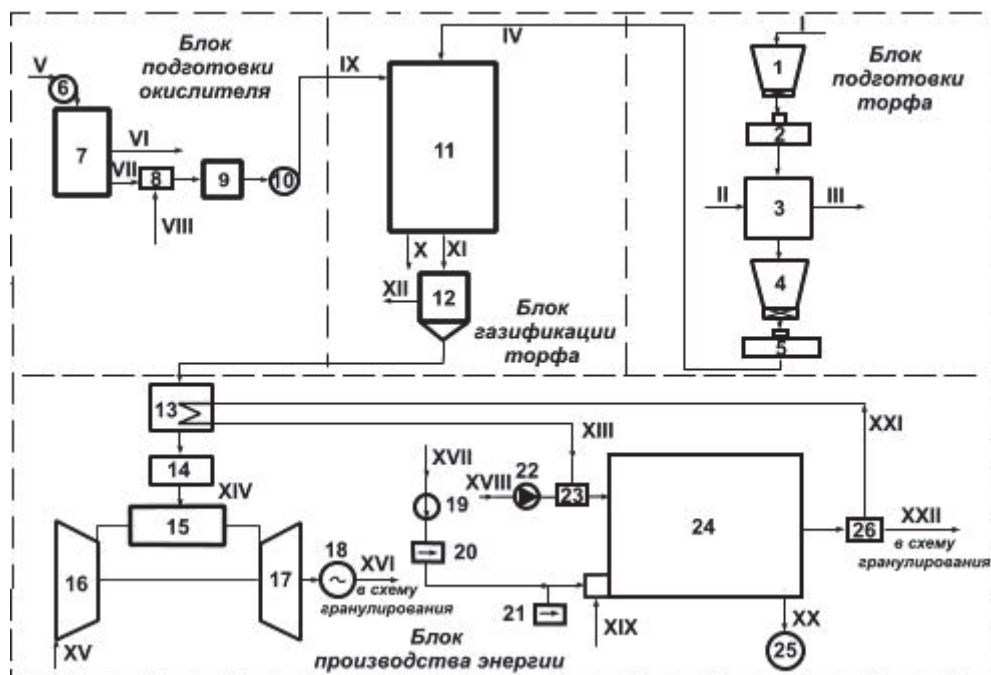


Рис. 2. Схема производства энергии с газификацией торфа для энергообеспечения технологических схем получения торфяных продуктов: 1, 4 – бункеры топлива; 2, 5 – питатели топлива; 3 – мельница; 6, 19 – вентиляторы; 7 – воздухоразделительная установка; 8, 23, 26 – смесители; 9 – теплообменник; 10 – компрессор; 11 – газогенератор; 12 – циклон; 13 – газоохладитель; 14 – фильтры; 15 – камера сгорания; 16 – компрессор ГТУ; 17 – газовая турбина; 18 – генератор; 20, 21 – шиберы; 22 – сетевой насос; 24 – котел-утилизатор; 25 – дымовая труба; I – торф; II и III – сушильный агент соответственно в мельницу и после мельницы; IV – торфяная пыль; V, XV, XVII – воздух; VI – азот; VII – кислород; VIII – водяной пар; IX – окислитель в газогенератор; X – зола; XI – запыленный генераторный газ; XIII – питательная вода; XIV – очищенный генераторный газ; XVI – электроэнергия; XVIII – вода; XIX – природный газ; XX – уходящие газы; XXI – пар; XXII – выработанный пар

Fig. 2. Circuit of energy generation with peat gasification for power supply of flow chart for obtaining peat products: 1, 4 are the fuel bunkers; 2, 5 are the fuel feeders; 3 is the mill; 6, 19 are the ventilators; 7 is the air separation unit; 8, 23, 26 are the mixtures; 9 is the heat exchanger; 10 is the compressor; 11 is the gas generator; 12 is the cyclone; 13 is the gas cooler; 14 are the filters; 15 is the combustor chamber; 16 is the gas turbine unit compressor; 17 is the gas turbine; 18 is the generator; 20, 21 are the gates; 22 is the main-line pipe; 24 is the waste heat boiler; 25 is the chimney; I is the peat; II and III are the drying agent into the mill and after the mill, respectively; IV is the peat dust; V, XV, XVII is the air; VI is nitrogen; VII is oxygen; VIII is vapor; IX is the oxidizer into gas generator; X is ash; XI is the dust exhaust gas; XIII is the feed water; XIV is the refined exhaust gas; XVI is the power energy; XVIII is water; XIX is natural gas; XX is exhaust gas; XXI is vapor; XXII is waste vapor

нужды линий производства торфяных гранул (в том числе и пеллет).

В технологических схемах производства гранул или брикетов используется пар и электроэнергия на привод механизмов и оборудования. Как правило, пар для гранулирования вырабатывается с теплогенераторах, в которых сжигается некоторое количество торфа, древесных опилок, лузги и других отходов. Электроэнергия в такие схемы поступает из централизованной системы энергоснабжения. Предлагаемая схема предназначена для полного покрытия нагрузок тепло- и электро-снабжения линий гранулирования или брикетирования, и в данном случае перерабатывающее предприятие становится комплексным и энергонезависимым от централизованных энергосистем или дорогостоящих энергоносителей.

Стоит отметить, что в случае применения парокислородного дутья применяется воздухоразделительное оборудование, что приводит к дополни-

тельным капиталовложениям в такие схемы, поэтому необходима комплексная оценка эффективности тех или иных мероприятий в каждом конкретном случае, и на основании полученных результатов следует принимать решение о целесообразности того или иного способа газификации с учетом требований к генераторному газу. Схемы газификации с воздушным дутьем могут также применяться в совокупности с другими технологическими линиями, и вырабатываемая на основе генераторного газа энергия может покрывать нагрузки основного и вспомогательного оборудования таких перерабатывающих торфяных комплексов.

Выводы

Рассмотрены основные направления использования торфяных ресурсов в региональной энергетике, при этом одним из перспективных является комплексное применение торфа в энергетике. Про-

изводство торфяных продуктов и тепловой и электрической энергии на основе систем газификации торфа является актуальным для развития местной энергетики. В условиях огромных торфяных запасов, низкой себестоимости энергии на основе торфа, а также экологичности его использования такие технологии являются привлекательными для регионов, удаленных от централизованной системы энергоснабжения. Обеспечить автономность функционирования предприятия по производству торфяных гранул или брикетов, которые могут использоваться в качестве топлива для коммуналь-

но-бытовых нужд, можно на основе технологической схемы с газификацией торфа.

Предложенная методика расчета состава генераторного газа учитывает двухстадийность процесса и предварительный выход летучих. Результаты расчета показали возможность получения газа с высокой теплотворной способностью 9000–9500 кДж/нм³, который может сжигаться в камерах сгорания газотурбинных установок.

Публикация осуществлена при финансовой поддержке РФФИ и Правительства Республики Татарстан, проект № 12-08-97055.

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. Концепция охраны и рационального использования торфяных болот России / под общ. ред. чл.-корр. РАСХН Л.И. Инишевой. – Томск: ЦНТИ, 2005. – 97 с.
3. Лаптев А.Г., Лаптедильч Н.К., Сергеева Е.С. Комплексное использование торфа в энергетике // Труды Академэнерго. – 2007. – № 4. – С. 28–31.
4. Казанцев Т.В. Российский и мировой рынок торфа. URL: <http://www.marketing.spb.ru/mr/industry/peat.htm> (дата обращения: 26.04.2011).
5. Газификация фрезерного торфа / Н.Н. Богданов, Д.А. Ворона, И.С. Галынкер и др. – М.; Л.: Государственное энергетическое изд-во, 1959. – 120 с.
6. Раковский В.Е. Общая химическая технология торфа. – М.: Госэнергоиздат, 1949. – 363 с.
7. Альтшулер В.С., Сеченов Г.П. Процессы в кипящем слое под давлением. – М.: Изд-во АН СССР, 1963. – 214 с.
8. Коллеров Л.К. Газомоторные установки. – М.; Л.: Изд-во машиностроительной литературы, 1951. – 240 с.
9. Дудко В.Я. Основные направления формирования рынка торфяной отрасли // Сборник материалов Всероссийского торфяного форума. – Эммаус, 27–28 апреля 2011. – С. 61–62.
10. Саркисян В.А. Концепция использования торфа в энергообеспечении регионов России // Сборник материалов Всероссийского торфяного форума. – Эммаус, 27–28 апреля 2011. – С. 56–57.
11. Абакумов А.М. Производство органического гидрофобного модификатора на основе торфа // Сборник материалов Всероссийского торфяного форума. – Эммаус, 27–28 апреля 2011. – С. 69–70.
12. Гамаюнов С.Н. Нетрадиционное использование продукции на основе торфа // Сборник материалов Всероссийского торфяного форума. – Эммаус, 27–28 апреля 2011. – С. 70–71.
13. Майков К.М. Инновационные разработки в сфере термохимической переработки торфа с получением электрической и тепловой энергии для повышения энергоэффективности торфопредприятий // Сборник материалов Всероссийского торфяного форума. – Эммаус, 27–28 апреля 2011. – С. 58–59.
14. Суворов В.И. Перспективные технологии добычи, переработки и использования торфа // Сборник материалов Всероссийского торфяного форума. – Эммаус, 27–28 апреля 2011. – С. 62–63.
15. Application of Peat, Wood Processing and Agricultural Industry By-products in Producing the Insulating Building Materials / A. Korjakins, N. Toropovs, P. Kara, L. Upeniece, G. Shakhmenko // Journal of architecture and civil engineering. – 2013. – № 1 (2). – P. 62–68.
16. Кузьмина Ю.С. Перспективы применения торфа в качестве топлива // Молодежный научно-технический вестник. – 2012. – № 4. – С. 48–56.
17. Ринкевич В.П. Анализ способов получения и рецептур гранулированных композитов различного назначения на основе торфа // Вестник Белорусско-Российского университета. – 2007. – № 4. – С. 172–179.
18. 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.
19. Штин С.М. Применение торфа как топлива для малой энергетики // Горная промышленность. – 2011. – № 7. – С. 82–96.
20. Афанасьева О.В., Мингалеева Г.Р. О возможностях использования торфа в малой энергетике Республики Татарстан // Энергетика Татарстана. – 2013. – № 4. – С. 37–41.
21. Вандышева С.С., Афанасьева О.В., Мингалеева Г.Р. Оценка эффективности мини-ТЭС, работающих на твердом топливе // Альтернативная энергетика и экология. – 2010. – № 6. – С. 122–126.
22. Современные тенденции развития систем газификации угля / Н.С. Шестаков, А.Э. Лейкам, Д.Ф. Серант, Е.Е. Русских // Промышленная теплоэнергетика. – 2009. – № 2. – С. 2–9.
23. Саламов А.А. Парогазовые установки с газификацией топлива // Теплоэнергетика. – 2002. – № 6. – С. 74–77.
24. Ольховский Г.Г. Применение новых технологий при техническом перевооружении угольных ТЭС // Теплоэнергетика. – 2003. – № 9. – С. 7–18.
25. Шабанов В.Ф. Фундаментальные основы комплексной переработки углей КАТЭКа для получения энергии, синтез-газа и новых материалов с заданными свойствами. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2005. – 219 с.
26. Никифоров В.А. Разработка торфяных месторождений и механическая переработка торфа. – М.: Высшая школа, 1979. – 400 с.
27. Низкотемпературная газификация торфоминеральных материалов / А.Е. Афанасьев, Э.М. Сульман, О.С. Мисников, В.В. Алферов // Горный журнал. – 2004. – Спец. выпуск. – С. 121–123.
28. Tolvanen H., Kokko L., Raiko R. Fast pyrolysis of coal, peat, and torrefied wood: Mass loss study with a drop-tube reactor, particle geometry analysis, and kinetics modeling // Fuel. – 2013. – № 111. – P. 148–156.
29. Тимофеева С.С., Мингалеева Г.Р. Исследование режимных параметров поточного газогенератора при газификации твердого топлива // Вестник Казанского технологического университета. – 2011. – № 16. – С. 216–223.
30. Канторович Б.В. Основы теории горения и газификации твердого топлива. – М.: Изд-во АН СССР, 1958. – 598 с.
31. Химические вещества из угля / под ред. И.В. Калечица. – М.: Химия, 1980. – 616 с.

Поступила 19.05.2014 г.

UDC 620.92:662.73

PROSPECTS OF USING PEAT IN REGIONAL POWER ENGINEERING

Svetlana S. Timofeeva,

Cand. Sc., Research Center for Power Engineering Problems of the Russian Academy of Sciences, 2/31, Lobachevskiy street, Kazan, 420111, Russia.

E-mail: zvezdochka198512@mail.ru

Guzel R. Mingaleeva,

Dr. Sc., Research Center for Power Engineering Problems of the Russian Academy of Sciences, 2/31, Lobachevskiy street, Kazan, 420111, Russia. E-mail:

E-mail: mingaleeva-gr@mail.ru

Relevance of the work is caused by the need of extensive peat use in terms of huge reserves of peat resources and annual increase in prices for traditional energy. The aim of the research is to examine the main areas of peat use in various industries and to justify optimal method of its application in regional energy sector through the development of recycling schemes using peat gasification capable of supporting object autonomy. The paper considers the existing peat applications synthesized by industry, the most promising of which is the use of peat resources in regional energy sector. The authors have selected and justified the promising way to use peat in regional energy-based gasification systems, as well as a scheme of processing peat; have calculated the composition of the product gas for peat samples of the same type and kind, but with different quality characteristics and types of blast. The calculation technique takes into account the stages of drying peat, thermal degradation and peat coke gasification. In the proposed scheme the gasification is carried out in in-line peat generator at high temperature and various kinds of blasting. Electricity and heat obtained from peat resource gasification may be used for technological needs of production lines of peat granules or pellets. The scheme allows providing reliable and independent heating and electricity supply of the systems or enterprises producing different peat products. In this case the processing plant becomes autonomous and non-volatile from centralized energy systems and costly energy sources.

Key words:

Peat, technologies, power engineering, gasification, efficiency.

The research was financially supported by RFBR and the Government of the Republic of Tatarstan, project no. № 12–08–97055.

REFERENCES

1. *Energeticheskaya strategiya Rossii na period do 2030 goda* [The Energy Strategy of Russia until 2030]. Approved. RF Government Decree of 13 November 2009, no. 1715-r, 144 p.
2. *Kontseptsiya okhrany i ratsionalnogo ispolzovaniya torfyanykh bolot Rossii* [Concept of protection and sustainable use of peatlands in Russia]. Ed. by L.I. Inisheva. Tomsk CSTI Press, 2005. 97 p.
3. Laptev A.G., Lapedulche N.K., Sergeeva E.S. Kompleksnoe ispolzovanie torfa v enegetike [Integrated use of peat in energy]. *Trudy Akademenergo*, 2007, no. 4, pp. 28–31.
4. Kazantsev T.V. *Rossiyskiy i mirovoy rynek torfa* [Russian and the world peat market]. Available at: <http://www.marketing.spb.ru/mr/industry/peat.htm> (accessed 26 April 2011).
5. Bogdanov N.N., Vorona D.A., Galyuker I.S. *Gazifikatsiya frezer-nogo torfa* [Gasification of milled peat]. Moscow, Leningrad, State Energy Publ., 1959. 120 p.
6. Rakovsky V.E. *Obshchaya khimicheskaya tekhnologiya torfa* [General chemical peat technology]. Moscow, Leningrad, Gosenergoizdat Publ., 1949. 363 p.
7. Altshuler V.S., Sechenov G.P. *Protsessy v kipyashchem sloe pod davleniem* [Processes in the pressurized fluidized bed]. Moscow, USSR Academy of Sciences Publ., 1963. 214 p.
8. Kollerov L.K. *Gazomotornye ustanovki* [NGV installation]. Moscow, Leningrad, Engineering literature Publ., 1951. 240 p.
9. Dudko V.Ya. Osnovnye napravleniya formirovaniya rynka torfyanoy otrasli [Basic directions in developing peat industry market]. *Sbornik materialov Vserossiyskogo torfyanova foruma* [Collected materials of All-peat forum]. Emmaus, 27–28 April 2011. pp. 61–62.
10. Sarkisyan V.A. Kontseptsiya ispolzovaniya torfa v energoob-espechenii regionov Rossii [The concept of using peat in energy supply of regions in Russia]. *Sbornik materialov Vserossiyskogo torfyanova foruma* [Collected materials of All-peat forum]. Emmaus, 27–28 April 2011. pp. 56–57.
11. Abakumov A.M. Proizvodstvo organicheskogo gidrofobnogo modifikatora na osnove torfa [Production of organic hydrophobic modifier based on peat]. *Sbornik materialov Vserossiyskogo torfyanova foruma* [Collected materials of All-peat forum]. Emmaus, 27–28 April 2011. pp. 69–70.
12. Gamayunov S.N. Netraditsionnoe ispolzovanie produktsii na osnove torfa [Unconventional use of peat-based products]. *Sbornik materialov Vserossiyskogo torfyanova foruma* [Collected materials of All-peat forum]. Emmaus, 27–28 April 2011. pp. 70–71.
13. Maykov K.M. Innovatsionnye razrabotki v sfere termokhimicheskoi pererabotki torfa s polucheniem teplovoy i elektricheskoy energii dlya povycheniya energoeffektivnosti torfopredpriyatiy [Innovative developments in thermochemical conversion of peat to produce electricity and heat for energy efficiency peat enterprises]. *Sbornik materialov Vserossiyskogo torfyanova foruma* [Collected materials of All-peat forum]. Emmaus, 27–28 April 2011. pp. 58–59.
14. Suvorov V.I. Perspektivnye tekhnologii dobychi, pererabotki i ispolzovaniya torfa [Advanced technologies in peat extraction, processing and use]. *Sbornik materialov Vserossiyskogo torfyanova foruma* [Collected materials of All-peat forum]. Emmaus, 27–28 April 2011. pp. 62–63.
15. Korjakins A., Toropovs N., Kara P., Upeniece L., Shakhmenko G. Application of Peat, Wood Processing and Agricultural Industry By-products in Producing the Insulating Building Materials. *Journal of architecture and civil engineering*, 2013, no. 1 (2), pp. 62–68.
16. Kuzmina Yu.S. Perspektivy primeneniya topfa v kachestve topliva [Prospects of applying peat as a fuel]. *Molodezhny nauchno-tekhnicheskiy vestnik*, 2012, no. 4, pp. 48–56.

17. Rinkevich V.P. Analiz sposobov polucheniya i retseptur granulirovannykh kompozitov razlichnogo naznacheniya na osnove torfa [Analysis of methods for producing granular formulations and composites on the basis of peat for different purposes]. *Vestnik Belorussko-Rossiyskogo universiteta*, 2007, no.4, pp. 172–179.
18. Tabakaev R.B., Kazakov A.V., Zavorin A.S. Perspektivnost nizkotsortnykh topliv Tomskoy oblasti dlya teplotekhnicheskogo ispolzovaniya [The prospect of low-grade fuels in Tomsk region for heating]. *Bulletin of the Tomsk Polytechnic University*, 2013, vol. 323, no. 4, pp. 41–46.
19. Shtin S.M. Primenenie torfa kak topliva dlya maloy energetiki [Application of peat as a fuel for small-scale power engineering]. *Mining Journal*, 2011, no. 7, pp. 82–96.
20. Afanasyeva O.V., Mingaleeva G.R. O vozmozhnostyakh ispolzovaniya torfa v maloy energetike Respubliki Tatarstan [On opportunities of applying peat in small-scale power engineering in Tatarstan]. *Energetika Tatarstana*, 2013, no. 4, pp. 37–41.
21. Vandysheva S.S., Afanasyeva O.V., Mingaleeva G.R. Otsenka effektivnosti mini TES, rabotayushchikh na tverdom toplive [Evaluating the effectiveness of the mini-TPP operating on solid fuel]. *International scientific journal for alternative energy and ecology*, 2010, no. 6, pp. 122–126.
22. Shestakov N.S., Leykam A.E., Serant D.F., Russkikk E.E. Sovremennye tendentsii razvitiya sistem gazifikatsii uglya [Modern trends in coal gasification systems]. *Industrial power*, 2009, no. 2, pp. 2–9.
23. Salamov A.A. Parogazovye ustanovki s gazifikatsiey topliva [Combined-cycle plants with fuel gasification]. *Thermal Engineering*, 2002, no. 6, pp. 74–77.
24. Olkhovskiy G.G. Primenenie novykh tekhnology pri tekhnicheskoy perevooruzhenii ugolnykh TES [Application of new technologies in coal-fired plants retooling]. *Thermal Engineering*, 2003, no. 9, pp. 7–18.
25. Shabanov V.F. *Fundamentalnye osnovy pererabotki ugley KATEKa dlya polucheniya energii, sintez-gaza i novykh materialov s zadannymi svoystvami* [Fundamentals of complex processing KATEK coal for producing energy, synthesis gas, and new materials with desired properties]. Novosibirsk, SB RAS Publ., 2005. 219 p.
26. Nikiforov V.A. *Razrabotka torfyanykh mestorozhdeniy i mekhanicheskaya pererabotka torfa* [Development of peat deposits and peat mechanical processing]. Moscow, Vysshaya shkola Publ., 1979. 400 p.
27. Afanasyev A.E., Sulman E.M., Misnikov O.S., Alferov V.V. Nizkotemperaturnaya gazifikatsiya torfomineralnykh materialov [Low-temperature gasification of peat-lite materials]. *Mining Journal*, 2004, Special Edition, pp. 121–123.
28. Tolvanen H., Kokko L., Raiko R. Fast pyrolysis of coal, peat, and torrefied wood: Mass loss study with a drop-tube reactor, particle geometry analysis, and kinetics modeling. *Fuel*, 2013, no. 111, pp. 148–156.
29. Timofeeva S.S., Mingaleeva G.R. Issledovanie rezhimnykh parametrov potochnogo gazogeneratorsa pri gazifikatsii tverdogo topliva [Study of mode parameters in stream gasifier at solid fuel gasification]. *Vestnik Kazanskogo tekhnologicheskogo universiteta*, 2011, no. 16, pp. 216–223.
30. Kantorovich B.V. *Osnovy teorii goreniya i gazifikatsii tverdogo topliva* [Fundamentals of solid fuels combustion and gasification theory]. Moscow, USSR Academy of Sciences Publ., 1958. 598 p.
31. *Khimicheskie veshchestva iz uglya* [Chemicals from coal]. Ed. by I.V. Kalechits. Moscow, Khimiya Publ., 1980. 616 p.

Received 19 May 2014.