

ПЕРСПЕКТИВНОСТЬ НИЗКОСОРТНЫХ ТОПЛИВ ТОМСКОЙ ОБЛАСТИ ДЛЯ ТЕПЛОТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ

Р.Б. Табакаев, А.В. Казаков, А.С. Заворин

Томский политехнический университет

E-mail: TabakaevRB@tpu.ru

Актуальность работы обусловлена необходимостью вовлечения возобновляемых источников энергии, в частности биомассы, в топливно-энергетический баланс. Целью настоящей работы является экспериментальное тестирование теплотехнологии производства топливных брикетов на различных видах низкосортных топлив Томской области. Посредством метода физического эксперимента протестированы наиболее крупные проявления низкосортных топлив Томской области на пригодность их переработки в брикетное топливо. В результате исследований определены теплотехнические характеристики низкосортных топлив Томской области, материальные балансы их теплотехнологической переработки, результаты формования топливных брикетов. Теплотехнические и прочностные характеристики полученных брикетов позволяют прийти к следующим выводам: разработанную теплотехнологию рационально использовать для переработки древесной щепы и кандинского торфа; переработка бурого угля Таловского месторождения и торфа месторождения «Суховское» возможна, но требует технико-экономического обоснования; использование карасёвского сапропеля и аркадьевского торфа в качестве исходного сырья наименее пригодно из-за очень высокого значения зольности получаемого брикетного топлива.

Ключевые слова:

Возобновляемые источники энергии, низкосортное топливо, теплотехнологическая переработка, топливные брикеты.

Введение

В настоящее время наблюдается тенденция интенсивного развития энергетики на основе использования нетрадиционных возобновляемых источников энергии (ВИЭ): более чем в 73 странах мира приняты программы государственного масштаба по вовлечению ВИЭ в топливно-энергетический баланс [1]. Правительство Российской Федерации разработало Федеральный закон «Об электроэнергетике» (№ 250-ФЗ от 18 октября 2007 г.) [2] и «Стратегию развития энергетики России на период до 2020 г.» [3], согласно которым предписано до конца 2020 г. ввести в эксплуатацию энергетические установки на ВИЭ мощностью более 20 ГВт.

Если мнения о перспективности внедрения солнечной и ветровой энергетики на территории России расходятся, то необходимость использования биомассы в энергетических целях поддерживают всё большее количество экспертов [1, 4]. При этом отмечается, что особенно целесообразно её использование в зонах децентрализованного энергоснабжения, энергетика которых базируется на автономных энергетических установках, работающих на дорогом привозном топливе. Широкому распространению биомассы в качестве топлива для энергетических объектов препятствуют как её собственные теплотехнические характеристики (высокая влажность и зольность, низкая теплота сгорания), так и другие объективные причины: высокая величина провала при слоевом сжигании из-за хрупкости и мелкого фракционного состава, проблематичность транспортировки и разгрузки в зимнее время года из-за смерзания и др. В связи с этим использование биомассы в существующем котельном оборудовании по традиционным технологиям сжигания неэффективно и практически не встречается. Поиск способов вовлечения биомассы

в топливно-энергетический баланс является актуальной научно-технической задачей.

Современный подход к энергетическому использованию биомассы предполагает её переработку в твердое (топливные брикеты) или газообразное топливо. Наибольшее распространение получила переработка в топливные брикеты благодаря тому, что основными потребителями являются отдаленные населенные пункты или небольшие поселки, жилищно-коммунальное хозяйство которых оснащено слоевыми котлами на твердом топливе. Переоборудование таких котельных на непроектное газообразное топливо приведет к затратной модернизации и увеличит сроки окупаемости.

Исследования по получению брикетного топлива из биомассы стали интенсивно проводиться с начала XX в. в связи с развитием металлургии (коксобрикетирующие) и теплоэнергетики (топливные брикеты). Первые технологии производства брикетного топлива основывались на прессовании измельченной биомассы при небольших давлениях. Последующие технологии развивались по принципу увеличения давления и температуры брикетирования [5–7]. Теплотехнические и прочностные характеристики брикетов из биомассы, изготовленных по технологиям того периода, существенно уступали характеристикам углей. Современные процессы получения топливных брикетов более разнообразны: брикетирование, термобрикетирующие, формование с использованием связующих веществ и др.

В Томском политехническом университете разработана теплотехнология переработки низкосортного топлива в универсальные топливные брикеты [8, 9], которая была апробирована на торфе [10]. Полученные результаты позволили получить топливные брикеты с низшей теплотой сгорания 8,47...21,64 МДж/кг.

Целью настоящей работы является экспериментальное тестирование данной теплотехнологии на различных видах низкосортных топлив Томской области.

Исследуемое сырье

Томская область является одним из энергодефицитных регионов: основу топливно-энергетического баланса составляют природный газ и привозной уголь Кузбасса и Красноярского края. В состав области входят 6 городов, 16 муниципальных районов, 4 городских округа, 3 городских и 116 сельских поселений, 576 сельских населённых пунктов. Значительная часть поселений расположена в области децентрализованного энергоснабжения, которое осуществляется в основном дизельными электростанциями. Топливо при этом доставляется речным, наземным или воздушным транспортом, в результате чего стоимость производимой электроэнергии в ряде случаев доходит до 68 руб/кВт·ч [11]. При этом область имеет огромные ресурсы торфа, отходов лесоперерабатывающей промышленности, бурого угля и сапропеля.

В качестве сырья для тестирования технологии выбраны низкосортные топлива из наиболее крупных их проявлений в Томской области (рис. 1): торфяные месторождения Бакчарского, Колпашевского, Томского районов, буроугольное Таловское месторождение, отвалы древесных отходов одного из ЛПК, сапропель озерного месторождения Колпашевского района.

Суховское и Аркадьевское месторождения торфа полностью сложены одним типом залежи – низинным, относятся к группе среднеразложившихся торфов, осушены под промышленное использование. Вблизи месторождения «Аркадьевское» в период 1986–1995 гг. было построено высокомеханизированное торфопредприятие, которое прекратило свое существование к концу 90-х гг. [12]. Торф Суховского месторождения уплотненный, характеризуется высоким выходом летучих веществ, а также высокой влажностью и умеренной зольностью, что в совокупности приводит к низкой теплоте сгорания. Торф Аркадьевского месторождения рыхлый, имеет высокий выход летучих, умеренную влажность и зольность, низкую теплоту сгорания.

Кандинское месторождение разрабатывалось с 1976 г. методом фрезерной заготовки в объеме до 400 тыс. т в год. В настоящее время на месторождении ведется добыча нерудных материалов – глины и песчано-гравийной смеси, находящейся под слоем торфа около 2,5 м. Торф коричневого цвета, в естественном состоянии имеет высокие значения влажности и выхода летучих веществ. В отличие от других разновидностей, кандинский торф имеет низкую зольность и достаточно высокую (для торфа) теплоту сгорания.

Таловское месторождение бурого угля оценивают как относительно крупное с прогнозными ресурсами около 3,6 млрд т (добыча угля может составить 10...15 млн т в год) [13]. Уголь относится к топливам ранней стадии углефикации, в его составе содержатся неразложившиеся остатки древе-



Рис. 1. Морфология низкосортных топлив Томской области: а) низинный торф месторождения «Суховское»; б) низинный торф месторождения «Аркадьевское»; в) торф месторождения «Кандинское»; г) бурый уголь месторождения «Таловское»; д) древесные отходы ЛПК «Партнер-Томск»; е) сапропель месторождения «Карасёвое»

сины и органических веществ. Уголь имеет неоднородный состав, коричневый цвет, низкие прочностные характеристики (хрупкий).

Пробы озерного сапропеля доставлены с месторождения «Карасёвое» вблизи села Чажемто Колпашевского района. Сапрпель представляет собой высоковлажную вязкую массу, зольность на сухую массу составляет довольно высокое значение, что в совокупности с высокой влажностью приводит к низкой теплоте сгорания. При этом выход летучих находится на уровне 95 %.

В качестве отходов лесоперерабатывающей промышленности исследовались древесная щепа из различных пород древесины с ЗАО «Лесоперерабатывающий комбинат «Партнер-Томск».

Теплотехнические характеристики исследуемых топлив приведены в табл. 1.

Методика и результаты экспериментов

Экспериментальные исследования проводились по методике [10], согласно которой исходные топлива измельчались до размера 1...20 мм, затем помещались в лабораторную установку теплотехнологической переработки (рис. 2).

Переработка исходного топлива осуществлялась до температуры 450 °С при максимальной для данной установки мощности нагрева (750 Вт), что позволило получить наибольший выход пиролизного конденсата. По окончании экспериментов составлялся материальный баланс (табл. 2).

Состав выделяющихся газовых продуктов регистрировался в диапазоне изменения температуры от 200 до 450 °С с шагом измерений 50 °С на хроматографе «Хроматэк-Кристалл 5000.2». По определенному составу согласно рекомендациям [15] рассчитывалась теплота сгорания газа. Усредненные

значения состава топливного газа и его теплоты сгорания в температурном интервале 200...450 °С приведены в табл. 3.

Таблица 1. Теплотехнические характеристики исследуемых топлив [14]

Теплотехнические характеристики	Торф			Таловский уголь	Карасёвский сапрпель	Древесная щепа
	Суховской	Аркадьевский	Кандинский			
Зольность на сухую массу A^d , %	39,5	31,5	9,1	25,9	38,4	0,6
Выход летучих веществ на сухую беззольную массу V^{daf} , %	69,3	71,0	71,6	63,2	84,8	91,8
Теплота сгорания на сухую беззольную массу Q^{daf} , МДж/кг	12,8	15,2	19,8	27,1	12,5	19,1

Таблица 2. Материальный баланс теплотехнологической переработки низкосортных топлив Томской области (с диапазоном погрешности определения)

Низкосортное топливо	Выход продуктов пиролиза на сухую массу, %		
	Углеродистый остаток (полукокс)	Пиролизный конденсат	Топливный газ
суховской торф	60,7±7,9	20,3±1,6	19,0±6,9
аркадьевский торф	74,8±1,9	12,0±0,7	13,2±1,5
кандинский торф	43,4±0,5	26,2±2,4	30,4±2,9
древесная щепа	31,1±3,3	23,6±4,4	45,3±3,0
таловский уголь	58,8±3,0	19,0±1,5	22,2±2,7
карасёвский сапрпель	67,4±1,8	14,1±3,1	18,5±4,3

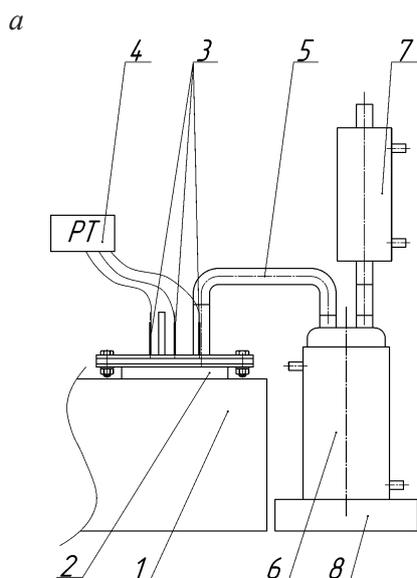


Рис. 2. Принципиальная схема лабораторной установки теплотехнологической переработки низкосортного сырья (а) и ее вид в сборе (б): 1 - нагревательный элемент, 2 - реактор, 3 - система термодатчиков, 4 - регистратор температуры, 5 - термостойкий шланг, 6 - емкость-холодильник, 7 - дополнительный холодильник, 8 - опора, 9 - амперметр, 10 - вольтметр, 11 - автотрансформатор

Из табл. 2 видно, что при термической переработке древесной щепы около 45 % от исходной массы сухого топлива превращается в топливный газ, при этом лишь 55 % массы загружаемого сырья будет переработано в брикетное топливо. В связи с этим древесная щепа может рассматриваться как сырье для гибридных установок, предназначенных для получения как топливного газа, так и твердого брикетного топлива.

Таблица 3. Усредненный состав топливного газа, получаемого в ходе термической обработки в температурном интервале 200...450 °С, и его теплоты сгорания

Низкосортное топливо	Состав топливного газа, %						Среднее значение теплоты сгорания топливного газа, МДж/м³
	H ₂	CO	CH ₄	C _m H _n	CO ₂	N ₂	
суховской торф	21,3	7,7	8,9	9,8	34,7	17,7	13,4
аркадьевский торф	22,4	7,4	7,9	8,6	34,9	18,8	12,3
кандинский торф	17,5	7,2	9,5	9,5	29,9	26,5	13,0
древесная щепа	4,9	19,7	14,6	8,7	27,9	24,2	14,5
таловский уголь	12,8	9,4	12,9	9,2	36,4	19,5	13,7
карасевский сапрпель	22,6	6,4	8,6	10,8	35,8	15,8	14,0

Газ, получаемый при термической обработке всех исследованных видов низкосортного топлива, содержит в своем составе около 50 % негорючего балласта (табл. 3) в виде углекислого газа и азота. По составу и теплоте сгорания отличается газ из древесной щепы: самое низкое содержание водорода, но самая высокая теплота сгорания из-за высокого содержания метана. Этот факт также свидетельствует о перспективности использования гибридных установок для переработки древесных отходов.

Следующий этап получения брикетов – формование. Для этого пиролизный конденсат подогревался до температуры 50...70 °С, после чего в нем растворялся декстрин. Согласно рекомендациям [8, 10, 16] соотношение пиролизного конденсата и декстрина принято 10:1. Полученный формовочный раствор смешивался с углеродистым остатком (полукоксом). Из смеси формовался брикетный сырец, который сушился при температуре 20 °С.

Теплотехнические характеристики полученных топливных брикетов, включая теплоту сгорания, определенную на калориметре АБК-1, представлены в табл. 4.

Анализ табл. 4 показывает, что по данной теплотехнологии переработки низкосортных топлив наиболее целесообразно получать топливные брикеты из древесной щепы, кандинского и суховского торфов. Брикеты, полученные из продуктов переработки древесной щепы, обладают самой высокой теплотой сгорания, сопоставимой с антрацитом. Данное значение теплоты сгорания, низкие значения зольности и выхода летучих веществ свидетельствуют о том, что топливный брикет практи-

чески полностью состоит из углерода. Характеристики брикетов из древесной щепы существенно превосходят характеристики каменных углей, добываемых на территории Российской Федерации, и с большой вероятностью смогут составить им серьезную конкуренцию не только в отдаленных населенных пунктах, но и непосредственно в административном центре.

Таблица 4. Теплотехнические характеристики полученных топливных брикетов

Теплотехнические характеристики	Брикеты из сырья					
	Суховской торф	Аркадьевский торф	Кандинский торф	Таловский уголь	Карасевский сапрпель	Древесная щепа
Влажность аналитическая W^p , %	-0,0	-0,0	-0,0	-0,0	-0,0	-0,0
Зольность на сухую массу A^d , %	40,6	61,9	22,9	38,5	56,5	3,5
Выход летучих веществ на сухую беззольную массу V^{daf} , %	25,1	18,6	23,3	12,7	19,8	15,7
Теплота сгорания на сухую беззольную массу Q_i^{daf} , МДж/кг	17,0	16,3	27,9	29,6	23,0	33,0
Низшая теплота сгорания Q_i' , МДж/кг	10,1	6,2	21,5	18,2	10,0	31,9

Брикеты из кандинского торфа сопоставимы по своим характеристикам с каменными углями Кузнецкого бассейна ($W_i^r=6,0...24,0$ %, $A^r=10,2...39,5$ %, $Q_i^r=14,4...25,3$ %) [17], поэтому их конкурентоспособность на топливно-энергетическом рынке будет определять ценовой фактор и стратегия маркетингового продвижения.

Характеристики брикетов из суховского торфа позволяют рассматривать их как конкурентоспособное топливо привозному углю только в отдаленных районах области. Однако необходима подробная проработка технико-экономического обоснования производства брикетов из данного сырья в конкретных условиях.

Теплотехнологическая переработка таловского угля в брикетное топливо не видится перспективным направлением, так как не происходит существенное улучшение характеристик по сравнению с исходным сырьем.

Ввиду высокой зольности топливных брикетов, приводящей к понижению теплоты сгорания и увеличению эксплуатационных затрат, теплотехнологическая переработка аркадьевского торфа и карасевского сапрпеля наименее целесообразна.

Испытания брикетов на прочность и влагостойкость

Испытания на механическую прочность топливных брикетов из древесной щепы кандинского и суховского торфов производились по ГОСТ

21289-75 «Брикеты угольные. Методы определения механической прочности». Согласно ГОСТ брикеты предварительно взвешивают, сбрасывают на металлическую плиту с высоты 1,5 м, после чего сброшенные брикеты собирают, просеивают на сите и взвешивают. Далее составляют отношение массы брикета после сбрасывания к начальной. ГОСТ 9963-84 «Брикеты торфяные для коммунально-бытовых нужд. Технические требования» предъявляет к топливным брикетам следующие требования: механическая прочность при сбрасывании должна быть не менее 95 %. В результате испытаний все брикеты показали 100 % устойчивость к разрушению при сбрасывании, что полностью удовлетворяет требованиям данного ГОСТа.

Вторым испытанием брикетов согласно ГОСТ 21289-75 является сжатие брикета с помощью прессы для определения максимальной нагрузки, которую сможет выдержать брикет. Однако требований к значению максимальной нагрузки на сжатие в ГОСТ не предъявляется. Максимальная нагрузка на сжатие испытуемых брикетов составила 0,18 МПа.

Испытания на влагостойкость проводились согласно ГОСТ 21290-75 «Брикеты угольные. Метод определения водопоглощения». Согласно ГОСТ брикеты предварительно взвешивают, помещают в емкость с водой на 2 часа, после чего их извлекают из емкости и снова взвешивают. Водопоглощение определяют как отношение разницы массы брикетов до и после пребывания в воде к начальной массе брикетов. При испытании на водопоглощение все брикеты разрушились за время контакта с водой.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Попель О.С., Реутов Б.Ф., Антропов А.П. Перспективные направления использования возобновляемых источников энергии в централизованной и автономной энергетике // Теплоэнергетика. – 2010. – № 11. – С. 2–11.
2. Распоряжение Правительства РФ от 08 января 2009 г. № 1-р // Российская газета. 2009. 16 января.
3. Распоряжение Правительства РФ от 28 августа 2003 г. № 1234-р // Российская газета. 2003. 30 сентября.
4. Попов С.П., Иванова И.Ю., Тугузова Т.Ф. Эффективность и масштабы использования возобновляемых источников энергии для изолированных потребителей // Известия РАН. Энергетика. – 2006. – № 3. – С. 110–114.
5. Булышко М.Г., Петровский Е.Е. Технология торфобрикетного производства. – М.: Недра, 1968. – 312 с.
6. Булышко М.Г. Брикетирование торфа. – М.: Госэнергоиздат, 1962. – 304 с.
7. Смольянинов С.И., Маслов С.Г. Термобрикетирование торфа. – Томск: Изд-во ТГУ, 1975. – 108 с.
8. 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.
9. Способ получения топливных брикетов из низкосортного топлива: пат. 2458974 Рос. Федерация МПК C10L5/14; C10L5/28; заявл. 08.06.11; опубл. 20.08.12, Бюл. № 4. – 7 с.: ил.
10. Загорин 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.
11. Финансово-экономическое обоснование к проекту закона // Федеральный закон «О внесении изменений в статью 17 феде-

Выводы

1. Проведено тестирование теплотехнологии переработки органического сырья в топливные брикеты на примере низкосортных топлив Томской области.
2. Установлено, что данную теплотехнологию рационально использовать для переработки древесной щепы и кандинского торфа, получая при этом брикеты с высокими теплотехническими характеристиками, удовлетворяющими требованиям ГОСТ 9963-84 по прочности. Переработка бурого угля Таловского месторождения и торфа месторождения «Суховское» возможна, но требует технико-экономического обоснования. Использование карасёвского сапропеля и аркадьева торфа в качестве исходного сырья наименее пригодно из-за очень высокого значения зольности получаемого брикетного топлива.
3. Перспективным направлением для теплотехнологической переработки древесной щепы следует считать создание гибридных установок, предназначенных как для получения топливного газа, так и твердого брикетного топлива.
4. Установлено, что брикеты не обладают влагостойкостью, разрушаясь при длительном контакте с водой. Необходима защитная упаковка брикетов при организации их производства.

Работа выполнена в рамках реализации ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009–2013 гг. (ГК № 14.740.11.11295) и при финансовой поддержке Томского политехнического университета («Грант на научную мобильность для молодых учёных»).

2. рального закона "О лицензировании отдельных видов деятельности"» [2012–2013]. Дата обновления: 01.07.2013. URL: [http://www.asozd2.duma.gov.ru/arhiv/a_dz_4.nsf/By-ID/A2A61CF339907B57C3257249004BADA6/\\$File/%D0%A4%D0%AD%D0%9E.rtf?OpenElement](http://www.asozd2.duma.gov.ru/arhiv/a_dz_4.nsf/By-ID/A2A61CF339907B57C3257249004BADA6/$File/%D0%A4%D0%AD%D0%9E.rtf?OpenElement) (дата обращения: 29.07.2013).
12. Бернатонис В.К., Бернатонис П.В. Концепция освоения ресурсов торфа в современных экономических условиях (на примере Томской области) // Известия Томского политехнического университета. – 2010. – Т. 316. – № 1. – С. 161–163.
13. Емешев В.Г., Паровичак М.С. Без привозной энергетике // Нефтегазовая вертикаль. – 2005. – № 17. – С. 63–65.
14. Кызычаков В.С., Нестерова М.А., Табакаев Р.Б. Сравнение характеристик твердых топлив по степени углефикации // Современные техника и технологии: сб. трудов XVIII Междунар. научно-практ. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых. – Томск: ТПУ, 2012. – Т. 3. – С. 259–260.
15. Тепловой расчет котельных агрегатов (нормативный метод) / под ред. Н.В. Кузнецова. 2-е изд., перераб. – М.: Энергия, 1973. – 295 с.
16. 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.
17. Энергетическое топливо СССР. Ископаемые угли, горючие сланцы, торф, мазут и горючий природный газ: справочник / В.С. Вдовченко, М.И. Мартынова, Н.В. Новицкий, Г.Д. Юшина. – М.: Энергоатомиздат, 1991. – 183 с.

Поступила 04.09.2013 г.

UDC 662.815.4

PROSPECTS OF USING LOW-GRADE FUELS OF TOMSK REGION FOR THERMAL TECHNOLOGY USE

R.B. Tabakaev, A.V. Kazakov, A.S. Zavorin

Tomsk Polytechnic University

The relevance of the work is conditioned by the necessity of including renewable energy sources, in particular biomass, into fuel and energy balance. The aim of the paper is the experimental testing of heat technologies in producing fuel briquettes in various types of low-grade fuels of Tomsk region. Using the physical experiment method the authors tested the largest manifestation of low-grade fuels of Tomsk region for suitability of their processing into fuel briquettes. Thermotechnical characteristics of low-grade fuels of Tomsk region, the material balances of their thermal technological processing, the results of forming fuel briquettes were determined through the research. Thermotechnical and strength characteristics of the briquettes allow making the following conclusions: the developed thermal technology should be used for processing wood chips and Kandinsky peat; processing of brown coal of Talovskiy deposit and peat of Sukhoi deposit is possible at detailed feasibility study; Karasevskiy sapropel and Arkadevskiy peat as source raw material for thermal technology are least suitable because of very high ash value of the produced fuel briquettes.

Key words:

Renewable energy sources, low-grade fuel, thermal technological processing, fuel briquettes.

REFERENCES

1. Popel O.S., Reutov B.F., Antropov A.P. *Teploenergetika*, 2010. 11, pp. 2–11.
2. *Rasporiyazhenie Pravitel'stva RF* (RF Government Executive Order. 08 January 2009. № 1-r). Rossiyskaya gazeta, 2009, 16 January.
3. *Rasporiyazhenie Pravitel'stva RF* (RF Government Executive Order. 28 August 2003. № 1234-r). Rossiyskaya gazeta, 2003, September 30.
4. Popov S.P., Ivanova I.Yu., Tuguzova T.F. *Izvestiya RAN. Energetika*, 2006. 3, pp. 110–114.
5. Bulynko M.G., Petrovskiy E.E. *Tekhnologiya torfobriketnogo proizvodstva* (Peat-compressed production). Moscow, Nedra, 1968. 312 p.
6. Bulynko M.G. *Briketirovanie torfa* (Peat briquetting). Moscow, Gosenergoizdat, 1962. 304 p.
7. Smolyaninov S.I., Maslov S.G. *Termobriketirovanie torfa* (Peat thermal briquetting). Tomsk, Tomsk State University, 1975. 108 p.
8. Zavorin A.S., Kazakov A.V., Tabakaev R.B. *Sposob izgotovleniya toplivnykh briketov iz biomassy* (the method of producing peat briquettes from biomass). Patent RF 2484125. MPK C10L5/44; C10L5/14; C10L5/26; C10F7/06, 2013.
9. Zavorin A.S., Kazakov A.V., Tabakaev R.B. *Sposob polucheniya toplivnykh briketov iz nizkosortnogo topliva* (The method of producing fuel briquettes from low-grade fuels). Patent RF 2458974. MPK C10L5/14; C10L5/28, 2012.
10. Zavorin A.S., Kazakov A.V., Tabakaev R.B. *Bulletin of the Tomsk Polytechnic University*, 2012. 320, 4, pp. 18–22.
11. *Finansovo-ekonomicheskoe obosnovanie k proektu zakona. Federalnyy zakon o «O vnesenii izmeneniy v stat'yu 17 federal'nogo zakona "O litsenzirovaniy otidel'nykh vidov deyatel'nosti" [2012–2013]* (Financial feasibility study to the Federal law «On changes into the 17th article of federal law «On licensing certain activities " [2012–2013]»). Available at: [http://www.asozd2.duma.gov.ru/archiv/andz4nsf/By-ID/A2A61CF339907B57C3257249004BADA6/\\$File/%D0%A4%D0%AD%D0%9E.rtf?OpenElement](http://www.asozd2.duma.gov.ru/archiv/andz4nsf/By-ID/A2A61CF339907B57C3257249004BADA6/$File/%D0%A4%D0%AD%D0%9E.rtf?OpenElement) (accessed 29 July, 2013).
12. Bernatonis V.K., Bernatonis P.V. *Bulletin of the Tomsk Polytechnic University*, 2010. 316, 1, pp. 161–163.
13. Emeshev V.G., Parovinchak M.S. *Neftegazovaya vertikal'*, 2005. 17, pp. 63–65.
14. Kyzychakov V.S., Nesterova M.A., Tabakaev R.B. *Sravnienie kharakteristik tverdykh topliv po stepeni uglefikatsii* (Comparison of characteristics of solid fuels in carbonization degree). *Souremennye tekhnika i tekhnologii. Sbornik trudov XVIII Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii studentov, aspirantov i molodykh uchenykh* (Contemporary technique and technology. Proc. XVIII International research and training conference of students, postgraduates and young scientists). Tomsk, Tomsk Polytechnic University, 2012. 3, pp. 259–260.
15. Kuznetsov N.V. *Teplovoy raschet kotelnykh agregatov* (Normativnyy metod) (Thermal analysis of steam generated unit). 2^d edition. Moscow, Energiya, 1973. 295 p.
16. Kazakov A.V., Tabakaev R.B., Plakhova T.M. *Vliyanie svyazuyushchikh veshchestv na prochnostnye svoystva toplivnykh briketov iz torfa* (Influence of binders on strength properties of peat briquettes). *Teplofizicheskie osnovy energeticheskikh tekhnologiy. Sbornik nauchnykh trudov II Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii* (Thermal physical bases of energy technologies. Proc. II All-Russian research-training conference). Tomsk, Tomsk Polytechnic University, 2011. pp. 222–225.
17. Vdovchenko V.S., Martynova M.I., Novitskiy N.V., Yushina G.D. *Energeticheskoe toplivo SSSR. Iskopaemye ugli, goryuchie slantsy, torf, mazut i goryuchiy prirodnyy gaz* (Power fuel of the USSR. Mineral coals, shale coal, peat, fuel-oil and flammable natural gas). Moscow, Energoatomizdat, 1991. 183 p.