

вращения рециркулирующего к устью горелки вихря около 2,5 оборотов в секунду. Массовый расход газов в вихре составляет 0,057 кг/с, что составляет около 30 % массы поступающей через горелку топливовоздушной смеси.

Список литературы:

1. Тепловой расчет котлов (Нормативный метод). – СПб: Изд. НПО ЦКТИ, 1998. – 256 с.
2. Хаустов С.А., Заворин А.С., Фисенко Р.Н. Численное исследование процессов в жаротрубной топке с реверсивным факелом // Известия Томского политехнического университета – 2013. – № 4. – С. 43–47.
3. Тайлашева Т.С. Моделирование топочной среды в котле типа ДКВР при сжигании природного газа // Известия Томского политехнического университета. – 2009. – № 4. – С. 42–47.

*УДК 662.815.4*

## **ТЕПЛОТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ПЕРЕРАБОТКА БИОМАССЫ ТОМСКОЙ ОБЛАСТИ ПРИМЕНИТЕЛЬНО К ЭНЕРГЕТИЧЕСКОМУ ИСПОЛЬЗОВАНИЮ**

Табакаев Р.Б., Казаков А.В., к.т.н., Баскакова А.С., Уваров Е.А.

Томский политехнический университет, г Томск

E-mail: TabakaevRB@tpu.ru

Современный взгляд на развитие энергетической отрасли направлен в сторону постепенного увеличения доли возобновляемых источников энергии в общем энергобалансе: более чем в 73 странах мира приняты программы государственного масштаба по вовлечению ВИЭ в топливно-энергетический баланс [1]. В свою очередь Правительство РФ 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 года ввести в эксплуатацию энергетические установки на ВИЭ мощностью более 20 ГВт.

В рамках настоящей работы рассмотрен один из видов ВИЭ – органическая биомасса. Использование биомассы в энергетических целях в качестве топлива затруднено из-за высокой влажности и низкой теплоты сгорания, что делает традиционное прямое её сжигание в существующем котельном оборудовании малоэффективным и нецелесообразным.

Перспективным видится теплотехнологическая переработка биомассы в облагороженные продукты: высококалорийный водородсодержащий газ или брикетное топливо. Однако о возможности и целесообразности такой переработки можно судить только тогда, когда имеются данные о материальном балансе, характеристиках исходных и конечных продуктов.

Целью работы является получение данных о материальных балансах низкотемпературного пиролиза биомассы Томской области и характеристиках получаемых облагороженных продуктах.

В качестве образцов исследуемой биомассы выбраны наиболее крупные её проявления в Томской области: торфяные месторождения Бакчарского, Колпашевского, Томского районов, отвалы древесных отходов одного из ЛПК, сапрпель озерного месторождения Колпашевского района.

Суховское и Аркадьевское месторождения торфа полностью сложены одним типом залежи – низинным, относятся к группе среднеразложившихся торфов, осушены под промышленное использование. 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.

Торф Кандинского месторождения характеризуется коричневым цветом, 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.

Пробы озерного сапрпеля 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 таблице 1.

Таблица 1. – Теплотехнические характеристики исследуемых топлив

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

Перечисленные образцы биомассы были подвергнуты низкотемпературному пиролизу на лабораторной установке теплотехнологической переработки [4]. Переработка 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 (см. табл. 2).

Таблица 2. – Материальный баланс теплотехнологической переработки биомассы Томской области

Низкосортное топливо	Выход продуктов пиролиза на сухую массу, %		
	Углеродистый остаток	Пиролизный конденсат	Водородсодержащий газ
суховской торф	60,7 ± 7,9	20,3 ± 1,6	19,0 ± 6,9
аркадьеvский 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
карасёvский сапрпель	67,4 ± 1,8	14,1 ± 3,1	18,5 ± 4,3

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 [5] рассчитывалась теплота сгорания газа. Усредненные значения состава топливного газа и его теплоты сгорания в температурном интервале 200–450 °С приведены в таблице 3.

Таблица 3. – Усредненный состав топливного газа и его теплоты сгорания в температурном интервале 200–450 °С

Низкосортное топливо	Состав топливного газа, %						Среднее значение теплоты сгорания топливного газа, МДж/м <sup>3</sup>
	H <sub>2</sub>	CO	CH <sub>4</sub>	C <sub>m</sub> H <sub>n</sub>	CO <sub>2</sub>	N <sub>2</sub>	
суховской торф	21,3	7,7	8,9	9,8	34,7	17,7	13,4
аркадьеvский 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
карасевский сапрпель	22,6	6,4	8,6	10,8	35,8	15,8	14,0

Теплотехнические характеристики получаемого при низкотемпературном пиролизе углеродистого остатка приведены в таблице 4.

Анализируя таблицы 2–4, можно отметить, что термическую переработку древесной щепы и кандинского торфа посредством низкотемпературного пиролиза можно осуществлять как для получения топливного газа высокой калорийности (большой выход и высокая теплота сгорания газа), так и для производства брикетного топлива из углеродистого остатка (очень высокая теплота сгорания) [4, 6, 7].

Таблица 4. – Теплотехнические характеристики углеродистого остатка

Теплотехнические характеристики	Суховской торф	Аркадьевский торф	Кандинский торф	Карасевский сапрпель	Древесная щепа
Влажность рабочая $W^r$ , %	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Зольность на сухую массу $A^d$ , %	40,6	61,9	22,9	56,5	3,5
Выход летучих веществ на сухую беззольную массу $V^{daf}$ , %	25,1	18,6	23,3	19,8	15,7
Теплота сгорания на сухую беззольную массу $Q^{daf}$ , МДж/кг	17,0	16,3	27,9	23,0	33,0

Характеристики продуктов пиролизасуховского торфа позволяют рассматривать их применительно к энергетическому использованию только после подробной проработки технико-экономического обоснования производства в конкретных условиях.

Ввиду высокой зольности углеродистого остатка, приводящей к понижению низшей теплоты сгорания и увеличению эксплуатационных затрат, теплотехнологическая переработка аркадьевского торфа и карасёвского сапрпеля в брикетное топливо наименее целесообразна. Невысокий выход газа не позволяет рассматривать их переработку и для производства топливного газа.

Выводы:

1. Древесные отходы и торф месторождения «Кандинское» являются перспективным сырьем для теплотехнологической переработки как в топливный газ, так и в брикетное топливо.

2. Использование суховского торфа для энергетического использования посредством теплотехнологической переработки требует подробной проработки технико-экономического обоснования в конкретных условиях.

3. Использование карасёвского сапрпеля и аркадьевского торфа в энергетике видится малоперспективным направлением из-за очень высокого значения зольности исходного сырья и получаемых продуктов теплотехнологической переработки.

*Работа выполнена по проекту РФФИ № 13-08-98070.*

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. Заворин А.С., Казаков А.В., Табакаев Р.Б. Экспериментальные предпосылки к технологии производства топливных брикетов из торфа // Известия Томского политехнического университета. – 2012 – Т. 320. – № 4. – С. 18–22.
5. Тепловой расчет котельных агрегатов: (Нормативный метод) / Под ред. Н.В. Кузнецова. – 2-е изд., перераб. – М.: Энергия, 1973. – 295 с.
6. Пат. 2484125 Россия. МПК С10L5/44; С10L5/14; С10L5/26; С10F7/06. Способ изготовления топливных брикетов из биомассы / А.С. Заворин, А.В. Казаков, Р.Б. Табакаев и др. Заявлено 16.04.2012. Оpubл. 10.06.2013. Бюл. № 16. – 7 с.: ил.
7. Пат. 2458974 Россия. МПК С10L5/14; С10L5/28. Способ получения топливных брикетов из низкосортного топлива / А.С. Заворин, А.В. Казаков, Р.Б. Табакаев и др. Заявлено 08.06.2011. Оpubл. 20.08.2012. Бюл. № 4. – 7 с.: ил.

УДК 662.815.4

## **ОЦЕНКА ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТИ ТЕПЛОТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ПЕРЕРАБОТКИ МЕСТНЫХ НИЗКОСОРТНЫХ ТОПЛИВ ТОМСКОЙ ОБЛАСТИ В ТОПЛИВНЫЕ БРИКЕТЫ**

Табакаев Р.Б., Казаков А.В., к.т.н., Васильева А.В.  
Томский политехнический университет, г. Томск  
E-mail: TabakaevRB@tpu.ru

Томская область является энергодефицитным регионом, энергетика которой в основном базируется на природном газе и привозном каменном угле с соседней Кемеровской области и юга Красноярского края. Несмотря на кажущуюся географическую близость регионов, затраты на железнодорожную транспортировку топлива существенно сказываются на его стоимости, увеличивая её в 1,5–2 раза [1]. Ещё более сложная ситуация складывается в отдаленных районах области, куда топливо доставляется автомобильным, воздушным или речным транспортом, в результате чего стоимость отпускаемой населению электроэнергии в ряде случаев достигает до 68 руб./кВт·ч [2].

Заменой привозному углю могут стать местные низкосортные топлива, такие как торф, биомасса, бурый уголь, сапрпель. Проведенные ранее исследования [3] показали неэффективность использования низкосортных топлив Томской области для прямого сжигания в котельном оборудовании в связи с высокой влажностью и зольностью, приводящими к низкому значению теплоты сгорания. В качестве рекомендаций предложена переработка этих топлив в облагороженное, например, топливные брикеты.

В Томском политехническом университете разработана теплотехнология переработки низкосортного топлива в универсальные топливные брикеты [4], которая была апробирована на торфе [5].