

УДК 620.9:662.6

ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ МЕСТНЫХ ТОПЛИВ ТОМСКОЙ ОБЛАСТИ

А.В. Казаков, О.А. Казакова, П.Ю. Новосельцев

Томский политехнический университет

E-mail: Kazakov@tpu.ru

Показана актуальность привлечения в топливно-энергетический баланс местных низкосортных топлив и исследованы характеристики местных топлив: торфа, древесины, бурого угля. Полученные из исходных топлив полукоксы рассматриваются в свете их потенциального энергетического использования, в связи с чем приведенные теплотехнические характеристики могут использоваться в качестве исходных данных для проектирования топливосжигающих устройств и расчетов технологических процессов.

Ключевые слова:

Низкосортное топливо, торф, бурый уголь, древесина, полукоксы, углерод, водород, кислород, теплота сгорания, зольность, влажность.

Суммарные ресурсы бурых углей в Томской области составляют 75,7 млрд т или 5 % от объема разведанных ресурсов бурых углей России. Месторождения бурых углей могут являться базой как для энергетического сырья, так и сырьем для получения химических веществ. Только по Таловскому месторождению прогнозные ресурсы составляют 3,6 млрд т. Добыча углей на месторождениях области на данный момент не ведется. По запасам торфа Томская область занимает второе место в России, уступая лишь Тюменской. На ее территории выявлено и учтено 1505 торфяных месторождений общей площадью в границах промышленной залежи 7,7 млн га с запасами торфа 29 млрд т. Геологическая и экономическая изученность торфяных ресурсов слабая. Детально изученных месторождений всего 4 с запасами 570 млн т (менее 3 % торфяных ресурсов области). Высоки потенциальные энергетические ресурсы лесов Томской области. Запас древесины оценивается в 2,7 млрд м³, из них в хвойных лесах 737,7 млн м³. Годовой прирост древесины составляет 27,4 млн м³, а объем ежегодно получаемых дров только в процессе ухода за лесом и за счет санитарных рубок может составить до 2 млн м³ дровяной древесины [1].

Топливо-энергетический комплекс является основой экономики Томской области и важнейшей сферой промышленной деятельности, определяющей уровень жизни населения, поэтому к числу приоритетов развития топливно-энергетического комплекса, в частности, относятся [1]:

- совершенствование баланса котельно-печного топлива за счет вовлечения местных ресурсов (торфа, бурого угля и дров);
- расширение рынка сбыта местных топливно-энергетических ресурсов и сокращение объемов ввозимого топлива.

Ввиду этого можно заключить, что изучение характеристик местных низкосортных топлив представляет собой актуальную задачу при поиске эффективных путей и технологий их энергетического использования.

Исследованию подверглись следующие виды низкосортных топлив, имеющих на территории

Томской области: торф, древесные отходы, бурый уголь Таловского месторождения. Помимо этого исследовались характеристики полукоксов, полученных из вышеперечисленных топлив, имея в виду, что полукоксы потенциально являются энергоэффективным топливом. Полукоксы получены путем термической обработки исходных топлив при температуре 450 °С и атмосферном давлении без доступа воздуха.

Усредненные характеристики как органической части, так и минеральной для исследованных топлив в различных состояниях представлены в таблицах 1–3. Согласно [2] более предпочтительным является представление результатов анализа золы лабораторного озоления на бессульфатную массу, так как получаемое анализом содержание сульфат-иона SO₃ в лабораторной золе не является показателем количества оксидов серы в минеральном балласте угля, а представляет собой в значительной мере результат вторичных преобразований в ходе озоления. Пересчет на бессульфатную массу производился по формуле: $X_{\text{к}} = X \cdot \Sigma_{\text{к}} / (\Sigma_{\text{к}} - \text{SO}_3)$, где X – массовая доля определяемого оксида элемента в золе, %; $\Sigma_{\text{к}}$ – сумма всех определяемых оксидов элемента в золе, %; SO₃ – массовая доля триоксида серы в золе, %.

Торф и древесина особого интереса для «большой» энергетики не представляют в отличие от бурого угля. В связи с этим минеральная часть бурого угля Таловского месторождения исследована более детально, в объеме, достаточном для принятия конструкторских и организационных решений при камерном сжигании угля в пылевидном состоянии.

Торф (табл. 1) характеризуется высокой влажностью (69,9 %) при низком значении зольности (4,49 %) на рабочее состояние, что определяет значительно малую теплоту сгорания на рабочую массу, равную 7,5 МДж/кг. Выход летучих составляет характерно высокое, для топлив ранней стадии метаморфизма, значение (75,4 %), что говорит о высокой реакционной способности торфа при условии снижения его влажности.

Зольность на сухую массу составляет 14,92 %, что несколько выше, чем для фрезерного торфа (Рос-

торф). В сухом состоянии торф имеет довольно высокую теплоту сгорания (24,92 МДж/кг), обусловленную высоким содержанием углерода (41,5 %) и водорода (13,7 %). Отрицательно на теплоте сгорания сухой массы сказывается высокое содержание кислорода (28,2 %), однако такое количество кислорода присуще «молодым» топливам. В то же время высокое содержание кислорода в топливе позволяет констатировать тот факт, что в процессе термической конверсии топлива будет наблюдаться экзотермический тепловой эффект [3], который позволит в зависимости от температуры процесса либо снизить количество тепла, вводимого в процесс, либо организовать его в автотермическом режиме. Неорганическая составляющая торфа в пересчете на бессульфатную массу представлена в основном соединениями кремния (74,2 %) и алюминия (14,3 %).

По сравнению с исходным состоянием торфа, полученный из него полукокс характеризуется (табл. 1) закономерно сниженными значениями выхода летучих (до 7,1 %) и влажности (до 0,7 %). При этом зольность имеет довольно высокое значение (24,2 %). Органическая часть представлена главным образом углеродом (97,2 %) с незначительным содержанием водорода (1,3 %), кислорода (1,3 %) и азота топлива (0,1 %). Ввиду малого выхода летучих и подавляющего содержания углерода довольно сложно организовать сжигание торфяного полукокса (это касается и полукоксов, полученных из древесины и бурого угля). Однако, небезызвестно, что получение теплоты из полукоксов можно осуществить в тлеющем режиме. При этом за счет малого количества летучих газообразные продукты сгорания бесцветны, а интенсивность процесса поддерживается за счет высокопористой волокнистой структуры полукокса, что обеспечивает подвод кислорода воздуха в требуемом объеме.

Несмотря на близкое к предельному содержание углерода в органической части торфяного полукокса, низшая теплота его сгорания на рабочую массу составляет 25,4 МДж/кг (при теплоте сгорания 33,8 МДж/кг на сухую беззольную массу), что обусловлено высокой зольностью. В целом можно констатировать, что торфяной полукокс представляется перспективным энергетическим сырьем. Что касается компонентов химического состава минеральной части торфяного полукокса, то принципиально они не отличаются от одноименных компонентов исходного торфа. То же самое можно констатировать и для полукоксов из древесины и бурого угля.

Судя по характеристикам древесных отходов (табл. 2), представленных в виде щепы и опилок, можно констатировать их высокую реакционную способность (выход летучих на сухую беззольную массу составляет 61 % при удовлетворительной влажности на рабочее состояние 28,4 %). Низшая теплота сгорания древесных отходов в рабочем состоянии имеет вполне приемлемое значение на уровне 17,2 МДж/кг, что обусловлено, как уже упоминалось выше, удовлетворительной влажностью и

практически полным отсутствием минеральных компонентов (зольность ~0,2 %). Как и в случае с торфом, высокое содержание кислорода (27,8 % в рабочей массе и 38,9 % – в сухой беззольной) снижает теплотворную способность древесины, что обусловлено также соответственно пониженным содержанием углерода (34,7 % в рабочей массе, 48,5 % – в сухой беззольной) и водорода (8,4 и 11,7 % – в рабочей и сухой беззольной массах соответственно).

Таблица 1. Характеристики торфа и торфяного полукокса

Характеристика	Вид массы				
	Рабочая	Сухая	Сухая беззольная	Минеральная	Бессульфатная
Торф	Выход летучих, %	–	–	75,40	–
	Влажность, %	69,90	–	–	–
	Зольность, %, в том числе содержание:	4,49	14,92	–	100,00
	• SiO ₂	3,31	11,00	–	73,72
	• Al ₂ O ₃	0,64	2,13	–	14,25
	• Fe ₂ O ₃	0,23	0,76	–	5,12
	• CaO	0,24	0,80	–	5,35
	• MgO	0,04	0,13	–	0,89
	• SO ₃	0,03	0,10	–	0,67
	Органика, %, в том числе содержание:	25,61	85,08	100,00	–
	• C	12,50	41,53	48,81	–
	• H	4,11	13,65	16,05	–
	• O	8,50	28,24	33,19	–
	• S	0,10	0,33	0,39	–
	• N	0,40	1,33	1,56	–
	Низшая теплота сгорания, МДж/кг	7,50	24,92	29,29	–
Торфяной полукокс	Выход летучих, %	–	–	7,08	–
	Влажность, %	0,66	–	–	–
	Зольность, %, в том числе содержание:	24,20	24,36	–	100,00
	• SiO ₂	17,80	17,92	–	73,55
	• Al ₂ O ₃	3,51	3,53	–	14,50
	• Fe ₂ O ₃	1,26	1,27	–	5,21
	• CaO	1,25	1,26	–	5,17
	• MgO	0,22	0,22	–	0,91
	• SO ₃	0,16	0,16	–	0,66
	Органика, %, в том числе содержание:	75,14	75,64	100,00	–
	• C	73,06	73,54	97,24	–
	• H	0,98	0,99	1,30	–
	• O	1,00	1,01	1,33	–
	• S	–	–	–	–
	• N	0,10	0,10	0,13	–
	Низшая теплота сгорания, МДж/кг	25,40	25,57	33,80	–

Можно отметить отличительную особенность неорганической составляющей древесных отходов – преобладание оксида кальция (49 %) и оксида магния (22 %) в бессульфатной массе золы, тогда как для минеральной части торфа и бурого угля характерно преобладание оксидов кремния и алюминия.

В полученном из древесных отходов полукоксе (табл. 2) можно отметить его высокую теплоту сгорания (25,1 МДж/кг — на рабочую массу), которая практически не изменяется как для сухой, так и для сухой беззольной масс. Это обусловлено крайне низкими значениями влажности (~1 %) и зольности (~1,4 %) в рабочей массе древесного полукокса.

Таблица 2. Характеристики древесных отходов и их полукоксов

Характеристика		Вид массы				
		Рабо- чая	Сухая	Сухая без- золь- ная	Мине- раль- ная	Бес- суль- фат- ная
Древесина	Выход летучих, %	—	—	61,00	—	—
	Влажность, %	28,40	—	—	—	—
	Зольность, %, в том числе содержание:	0,17	0,24	—	100,00	—
	• SiO ₂	0,023	0,03	—	13,65	14,88
	• Al ₂ O ₃	0,022	0,03	—	13,06	14,24
	• Fe ₂ O ₃	—	—	—	—	—
	• CaO	0,077	0,11	—	44,92	48,97
	• MgO	0,034	0,05	—	20,09	21,91
	• SO ₃	0,014	0,02	—	8,28	—
	Органика, %, в том числе содержание:	71,43	99,76	100,00	—	—
	• С	34,70	48,45	48,57	—	—
	• Н	8,39	11,72	11,75	—	—
	• О	27,80	38,83	38,92	—	—
	• S	0,04	0,06	0,06	—	—
	• N	0,50	0,70	0,70	—	—
	Низшая теплота сгора- ния, МДж/кг	17,20	24,02	24,08	—	—
Древесный полукокс	Выход летучих, %	—	—	10,30	—	—
	Влажность, %	0,98	—	—	—	—
	Зольность, %, в том числе содержание:	1,42	1,43	—	100,00	—
	• SiO ₂	0,19	0,19	—	13,45	14,62
	• Al ₂ O ₃	0,19	0,19	—	13,45	14,62
	• Fe ₂ O ₃	—	—	—	—	—
	• CaO	0,65	0,66	—	45,29	49,23
	• MgO	0,28	0,28	—	19,82	21,53
	• SO ₃	0,11	0,11	—	7,99	—
	Органика, %, в том числе содержание:	97,60	98,57	100,00	—	—
	• С	78,25	79,03	80,18	—	—
	• Н	0,90	0,91	0,92	—	—
	• О	18,35	18,53	18,80	—	—
	• S	—	—	—	—	—
	• N	0,10	0,10	0,10	—	—
	Низшая теплота сгора- ния, МДж/кг	25,10	25,35	25,72	—	—

Как и в случае с торфяным полукоксом, в древесном полукоксе значительно понижен выход летучих (10,3 %) по сравнению с исходной древесиной, а также понижено содержание кислорода, которое, однако, составляет довольно высокое значение (18,4 % — в рабочей массе). В целом, довольно высокую теплоту сгорания древесного полукокса определяет его углерод, в количестве 78,3 % на рабочую массу.

Характерной особенностью полукокса из древесных отходов (в сравнении с торфом и бурым углем) является то, что он не представляет собой агломераты, а состоит из отдельных кусочков, размер и форма которых определены исходным состоянием древесины.

Усредненные характеристики бурого угля Таловского месторождения приведены в табл. 3. Можно отметить довольно высокое значение выхода летучих (59,8 %) при удовлетворительном значении зольности (14,6 %) на рабочую массу. Однако высокая влажность рабочей массы (40,7 %) приводит к тому, что в сухом состоянии зольность угля составляет 24,6 %. Содержание кислорода в рабочей массе угля имеет довольно высокое значение (12,2 %), (что в целом согласуется с характеристиками «молодых», в частности, бурых углей), которое повышается до значения 27,3 % в горючей массе. Содержание серы и азота в рабочей массе невелико и составляет 0,2 % и 0,6 % соответственно. То же самое можно констатировать и относительно содержания водорода — 2,2 % в рабочей массе. Ввиду низкого содержания водорода основным потенциально теплообразующим элементом остается углерод топлива, содержание которого в рабочей массе составляет лишь 29,5 %, что обусловлено в первую очередь высокой влажностью. При этом низшая теплота сгорания рабочей массы угля составляет 10,8 МДж/кг. Однако если рассматривать таловский уголь в сухом состоянии, то теплота сгорания повышается до 18,2 МДж/кг (при зольности 24,6 %) и до 24,2 МДж/кг на сухую беззольную массу.

Как было отмечено выше, бурый уголь потенциально может рассматриваться как топливо «большой» энергетики, вследствие чего исследование его минеральной части проводилось более детально. Дополнительно проведено определение содержания оксидов таких элементов как титана, калия, натрия.

Выявленное содержание калия и натрия позволило определить принадлежность таловского угля к категории так называемых «несолевых» углей,

поскольку соотношение $\frac{K_2O}{Na_2O}$ для исследованного массива проб лежит в диапазоне 1,4...6,8. А согласно классификации [4] по критерию $\frac{K_2O}{Na_2O} > 1$ угли относятся к категории «несолевых».

Можно констатировать, что основные компоненты минеральной части таловского угля представлены оксидами кремния (около 46,9 %) и алюминия (~25,0 %). Согласно исследованиям [5] температурные характеристики золы находятся в довольно узких диапазонах. Так, температура начала деформации золы в среднем составляет 1240 °С, температура начала размягчения — 1350 °С, температура начала жидкоплавкого состояния — 1390 °С.

Результаты исследования минеральной части таловского угля [6] показали, что преобладающая доля неорганической составляющей угля представлена внешними минеральными примесями. При этом основным золообразующим элементом является кремний, а особенности формирования минеральной части создают благоприятные предпосылки к обогащению угля физическими методами. Преимущественная часть кальция и значительная часть магния химически связаны с органической массой угля. Железо и алюминий частично входят в состав внутренних минеральных включений в виде органоминеральных комплексов. Внешняя составляющая минеральной части угля состоит из кварца, пирита, гипса, глинистых минералов (каолинита, монтмориллонита), а также минералов группы полевых шпатов (плагиоклазов).

Полукоксы, полученные из бурого угля, характеризуются (табл. 3) низким содержанием летучих (7,1 %) и практически полным отсутствием влаги (0,78 %), при этом зольность составляет довольно высокое значение (35,82 %).

Количество углерода в органической массе преобладает и составляет 94,77 %, однако за счет повышенной зольности рабочей массы низшая теплота её сгорания составляет 20,1 МДж/кг, при том, что теплота сгорания сухой беззольной массы составляет 31,7 МДж/кг. Относительно других компонентов горючей массы можно констатировать их незначительное количество.

В целом по всем исследованным исходным топливам следует отметить, что они характеризуются высоким выходом летучих, повышенной влажностью, низкой теплотой сгорания, а их органическая часть насыщена кислородом.

Зольность на рабочее состояние невелика, однако за счет повышенной влажности в сухой массе эти значения довольно внушительны (за исключением древесины).

Для полученных из исходных топлив полукоксов характерно низкое содержание летучих и влаги и повышенное содержание минеральных компонентов. Их органическая часть представлена в основном углеродом, однако теплота сгорания полукоксов не достигает максимальных значений за счет высокой зольности (за исключением древесного полукокса, где на теплоту сгорания таким же образом влияет повышенное количество кислорода).

Таблица 3. Характеристики бурого угля и его полукоксы

Характеристика	Вид массы				
	Рабочая	Сухая	Сухая беззольная	Минеральная	Бессульфатная
Бурый уголь	Выход летучих, %	-	-	59,80	-
	Влажность, %	40,70	-	-	-
	Зольность, %, в том числе содержание:	14,60	24,62	-	100,00
	• SiO ₂	6,45	10,87	-	44,14
	• Al ₂ O ₃	3,38	5,70	-	23,15
	• Fe ₂ O ₃	1,68	2,83	-	11,48
	• CaO	1,65	2,78	-	11,29
	• MgO	0,17	0,28	-	1,13
	• TiO ₂	0,26	0,44	-	1,79
	• K ₂ O	0,11	0,19	-	0,75
	• Na ₂ O	0,07	0,12	-	0,47
	• SO ₃	0,83	1,41	-	5,80
	Органика, %, в том числе содержание:	44,70	75,38	100,00	-
	• C	29,50	49,75	66,00	-
	• H	2,20	3,71	4,92	-
	• O	12,20	20,57	27,29	-
	• S	0,20	0,34	0,45	-
	• N	0,60	1,01	1,34	-
	Низшая теплота сгорания, МДж/кг	10,80	18,21	24,16	-
Буроугольный полукоксы	Выход летучих, %	-	-	7,10	-
	Влажность, %	0,78	-	-	-
	Зольность, %, в том числе содержание:	35,82	36,10	-	100,00
	• SiO ₂	15,75	15,87	-	43,97
	• Al ₂ O ₃	8,40	8,47	-	23,45
	• Fe ₂ O ₃	4,10	4,13	-	11,45
	• CaO	3,98	4,01	-	11,11
	• MgO	0,41	0,41	-	1,14
	• TiO ₂	0,63	0,63	-	1,76
	• K ₂ O	0,28	0,28	-	0,78
	• Na ₂ O	0,17	0,17	-	0,48
	• SO ₃	2,10	2,13	-	5,86
	Органика, %, в том числе содержание:	63,40	63,90	100,00	-
	• C	60,00	60,47	94,77	-
	• H	0,30	0,31	0,33	-
	• O	3,00	3,02	4,78	-
	• S	-	-	-	-
	• N	0,10	0,10	0,12	-
	Низшая теплота сгорания, МДж/кг	20,10	20,26	31,70	-

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Приложение к Постановлению Государственной Думы Томской области от 28.02.2008 № 1008 «Энергетическая стратегия Томской области на период до 2020 года».
2. Заборин А.С., Красильникова Л.Г., Куценко О.И., Косарев В.В. Теплотехнические характеристики урюпских бурых углей Канско-Ачинского бассейна // Электрические станции. – 1980. – № 9. – С. 14–16.
3. Шишаков Н.В. Основы производства горючих газов. – М.: Госэнергоиздат, 1948. – 479 с.
4. Шпирт М.Я., Клер В.Р., Перчиков И.З. Неорганические компоненты твердых топлив. – М.: Химия, 1990. – 240 с.
5. Заборин А.С., Карякин С.К., Николаева В.И., Ласовская О.А. Теплотехнические свойства углей Таловского месторождения Томской области // Минеральная часть топлива, шлакование, загрязнение и очистка котлов: Труды III научно-практ. конф. – Челябинск, 2001. – С. 49–52.
6. Казакова О.А. Исследование состава минеральной части угля Таловского месторождения Томской области как энергетического топлива: Автореф. дис. ... канд. техн. наук. – Томск, 2006. – 16 с.

Поступила 11.02.2009 г.