УДК 621.311

КОМПЛЕКСНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ И ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ СОЛОМЫ И ЛУЗГИ ДЛЯ РАЗРАБОТКИ ТРЕБОВАНИЙ К ЭНЕРГЕТИЧЕСКОМУ ТОПЛИВУ ИЗ ОТХОДОВ БИОМАССЫ

Матвейчук А.С.[1], Рудавина Е.В.[2], Чернявский Н.В.[3]

[1] *Институт возобновляемой энергетики НАН Украины, Киев, Украина*
[2] *ГП «УкрНИИуглеобогащение», Луганск, Украина*
[3] *Институт угольных энерготехнологий НАН Украины, Киев, Украина*

АННОТАЦИЯ

Приведен обзор топливного потенциала сельскохозяйственных отходов биомассы в Украине. Систематизированы основные физико-химические и теплотехнические свойства наиболее распространенных видов топливной биомассы и выявлены свойства, требующие углубленного исследования для разработки требований к ней как к энергетическому топливу и при создании котлоагрегатов. Сопоставлены стандарты пробоподготовки, технического, элементного, калориметрического и других видов анализа биомассы и угля, определены задачи комплексного исследования топливной биомассы.

ВВЕДЕНИЕ

В условиях необходимости снижения топливного использования импортируемых природного газа и нефтепродуктов и возникшего вследствие повышения доли твердого топлива в топливной базе ТЭС дефицита энергетических углей [1] все большее внимание обращается на возобновляемые источники энергии, в частности, на топливную биомассу. В [2] показано, что в Украине экономически целесообразный потенциал биомассы, пригодной для производства энергии, достигает 27 млн т у.т. в год. Из них заметную часть составляют твердые отходы агропромышленной биомассы – солома и лузга (табл.1).

Таблица 1.

Вид биомассы	Энергетический потенциал, млн т у.т.		
	теоретический	технический	экономический
Солома зерновых	10,39	5,21	1,34
Солома рапса	1,65	1,15	1,15
Отходы кукурузы и подсолнуха	9,97	6,85	5,65
Всего	22,01	13,21	8,14

Величину экономического (т.е. с учетом всех потерь в цепочке сбора и топливоподготовки [2]) потенциала 8 млн т в год легче понять в сопоставлении с нынешними годовыми объемами использования природного газа на ТЭС (менее 1 млн т у.т. [1]) и в жилищно-коммунально-бытовом секторе (более 30 млн т у.т. [3]). Считается, что в силу меньшей зольности и меньшего содержания серы, чем в угле, биомасса более пригодна для замены природного газа именно в коммунальных и промышленных котельных [4]. Кроме того, биомасса является возобновляемым, углеродно-нейтральным топливом, использование которого не приводит к усилению глобального парникового эффекта [2].

Однако наряду с этими положительными свойствами биомасса обладает и теми, которые затрудняют ее использование как твердого топлива. Среди них - специфические плотность и крупность, требующие специальной топливоподготовки; низкая калорийность; наконец, высокое содержание щелочных металлов в золе, предопределяющее гораздо более низкие, чем у угля, температуры ее плавкости.

В связи с этим актуальным представляется разработка методологии комплексного исследования физико-химических и теплотехнических свойств биомассы для разработки требований к ней как к энергетическому топливу и к котлоагрегатам для ее сжигания.

© Матвейчук А.С., Рудавина Е.В., Чернявский Н.В.

СОПОСТАВЛЕНИЕ ВАЖНЕЙШИХ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ И ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ РАЗЛИЧНЫХ ТВЕРДЫХ ТОПЛИВ

Основными направлениями использования топливной биомассы считаются факельное сжигание, в т.ч. совместно с углем [5]; слоевое и комбинированное сжигание [6]; газификация с последующим дожиганием газообразных продуктов [7]. Для всех этих технологий основными характеристиками твердого топлива, которые используются для стандартизации техническихз требований к нему, при проектировании энергоустановок и оптимизации режимов термической переработки, являются [8]:

- влажность, зольность, выход летучих веществ, определяемые техническим анализом;
- элементный состав сухой беззольной массы – содержание углерода, водорода, азота, кислорода, содержание общей серы;
- теплота сгорания, определяемая калориметрическим анализом и пересчитываемая с высшей на низшую с использованием отдельно установленных показателей влажности, содержания водорода и общей серы;
- температуры плавкости золы, в отдельных случаях – состав золы по высшим оксидам;
- содержание в золе тяжелых металлов.

Таблица 2.

Показатель	Размерность	Солома	Торф[1]	Донецкий газовый уголь
Технический анализ (на рабочую массу)				
Влажность	%	7,9	10,0	11,0
Зольность	%	9,0	9,9	22,3
Выход летучих	%	66,1	55,3	26,7
Нелетучий углерод	%	17,0	24,8	40,0
Элементный анализ (на сухую беззольную массу)				
Углерод	%	48,0	57,6	80,0
Водород	%	5,8	5,8	5,3
Азот	%	0,7	2,5	1,5
Кислород	%	45,5	33,7	9,8
Сера	%	0,1	0,4	3,4
Калориметрический анализ				
Теплота сгорания высшая на сухую беззольную массу	МДж/кг	18,7	23,1	33,9
Теплота сгорания низшая на рабочую массу	МДж/кг	14,4	17,5	21,6
Температуры плавкости золы				
T1	°C	770	1190	1100
T2	°C	1045	1310	1220
T3	°C	1080	1360	1280
Химический состав золы				
SiO_2	%	-	35,3	43,0
Al_2O_3	%	-	8,8	24,0
Fe_2O_3	%	-	15,7	23,5
CaO+MgO	%	5,7	35,9	5,2
K_2O+Na_2O	%	13,1	4,3	3,8
Cl	%	2,8	-	-

[1] Влажность фрезерного торфа достигает 50%. Для сопоставления характеристики торфа пересчитаны на влажность 10%.

В табл.2 сопоставлены основные тепло-технические показатели соломы пшеницы [2] в сопоставлении с торфом и донецким газовым углем (концентратом энергетическим) [9].

Видно, что в ряду газовый уголь-торф-солома растет выход летучих веществ и снижается доля нелетучего углерода, что облегчает условия воспламенения соломы и требует учета при задании распределения первичного и вторичного дутья. В то же время, несмотря на снижение зольности, калорийность в этом ряду существенно уменьшается. Это связано с ростом содержания кислорода и снижением углерода в органической части топлива, из-за чего высшая теплота сгорания на сухую беззольную массу соломы почти вдвое меньше, чем газового угля. Из-за более низкой калорийности при сжигании соломы будут развиваться более низкие температуры, чем при сжигании угля и торфа, следовательно, нужно увеличение тепловоспринимающих поверхностей котла. Кроме того, на единицу выделенного тепла массовый расход соломы будет почти вдвое, а объемный, если не принять мер к ее уплотнению, - во много раз большим, чем газового угля.

Среди других существенных тенденций в этом можно выделить:

- снижение содержания серы, что позволяет сжигать солому без сероочистки даже в коммунальных котельных;
- увеличение мольного отношения водород: углерод от 0,79 до 1,45, что, как правило, связано с неполным отщеплением водорода при пиролизе и требует учета при расчете горения коксового остатка;
- снижение температур плавкости золы, что, если не принять специальных мер, гарантирует ускоренное шлакование поверхностей нагрева [10].

Последнее связано с тем, что в золе соломы значительно меньше тугоплавких компонентов (оксидов кремния, алюминия, щелочноземельных металлов) и больше легкоплавких (оксидов ще-

лочных металлов). Что касается такого вредного и химически активного компонента, как хлор, то для угля и торфа его содержание столь несущественно, что он, как правило, даже не измеряется. В соломе, напротив, хлор является заметным компонентом минеральной части.

В [2] указывается, что по данным зарубежных исследований физико-химические и теплотехнические характеристики существенно отличаются у соломы разных злаков, рапса, лузги, а также в зависимости от условий сбора и хранения топливной биомассы. Для украинских агропромышленных отходов такие исследования не проводились. При их выполнении, кроме традиционного технического, элементного, калориметрического анализа, анализа состава (с особым вниманием к содержанию щелочных металлов) и температур плавкости золы, можно рекомендовать анализ содержания хлора в исходном топливе, а также углерода и водорода в нелетучем остатке после пиролиза.

СОПОСТАВЛЕНИЕ СТАНДАРТНЫХ МЕТОДОВ АНАЛИЗА УГЛЯ И ТОПЛИВНОЙ БИОМАССЫ. АПРОБАЦИЯ НОВЫХ ДЛЯ УКРАИНЫ СТАНДАРТНЫХ МЕТОДОВ АНАЛИЗА ТОПЛИВНОЙ БИОМАССЫ

В Украине действуют такие основные стандарты на отбор, подготовку и анализ проб угля [11, 12]:

- ДСТУ 4096-2002 Вугілля буре, кам'яне, антрацит, горючі сланці та вугільні брикети. Методи відбору та підготовки проб до лабораторних випробувань;
- ГОСТ 27314-91 Топливо твердое минеральное. Методы определения влаги;
- ГОСТ 6382-91 Топливо твердое минеральное. Методы определения выхода летучих веществ;
- ГОСТ 11022-95 Топливо твердое минеральное. Методы определения зольности;
- ДСТУ 3528-97 (ГОСТ 8606-93) Паливо тверде мінеральне. Визначення загальної сірки. Метод Ешка;
- ДСТУ ISO 1928:2004 Палива тверді мінеральні. Визначення вищої теплоти згоряння методом спалювання в калориметричній бомбі та розрахунок нижчої теплоти згоряння;
- ГОСТ 2408.1–95 (ИСО 625–75) Топливо твердое. Методы определения углерода и водорода;
- ГОСТ 27313-95 (ИСО 1170-77) Топливо твердое минеральное. Обозначение показателей качества и формулы пересчета результатов анализа для различных состояний топлива;
- ГОСТ 2057-94 Топливо твердое минеральное. Методы определения плавкости золы.

Ряд требований, содержащихся в этих стандартах, неприменим к топливной биомассе. Например, из-за волокнистой структуры солома и лузга не могут размалываться для обеспечения крупности аналитической пробы менее 0,2 мм; при подготовке проб золы для определения температур ее плавкости методом сжигания пробы топлива температура сжигания, в отличие от угля, не может быть 850-900оС, поскольку это превышает температуру плавкости золы биомассы. Целый ряд специфических требований касается анализа элементного состава биомассы и состава золы. Однако до последнего времени в Украине не было специальных стандартов для подготовки и анализа проб биомассы.

В рамках Программы гармонизации национальных стандартов Украины с международной системой стандартизации такие нормативные документы (национальные идентичные пробные стандарты) недавно появились, в том числе:

- ДСТУ-П CEN/TS 14780 Біопаливо тверде. Методи готування проб;
- ДСТУ-П CEN/TS 13774 Біопаливо тверде. Методи визначання вмісту вологи. Методи висушування у сушильній шафі;
- ДСТУ-П CEN/TS 15148 Біопаливо тверде. Методи визначання вмісту летких речовин;
- ДСТУ-П CEN/TS 14775 Біопаливо тверде. Методи визначання вмісту попелу;
- ДСТУ-П CEN/TS 14918 Біопаливо тверде. Методи визначання теплотворної здатності;
- ДСТУ-П CEN/TS 15104 Біопаливо тверде. Методи визначання загального вмісту вуглецю, водню і азоту;
- ДСТУ-П CEN/TS 15296 Біопаливо тверде. Обчислювання складу за різними базами.

Применение этих распространенных за рубежом методов в Украине еще не апробировано. В настоящее время в углехимической лаборатории института «УкрНИИуглеобогащение» начато комплексное исследование нескольких видов отечественной соломы и лузги с апробацией новых стандартных методов. Институт возобновляемой энергетики и Институт угольных энерготехнологий НАН Украины курируют эту работу с точки зрения разработки технологий сжигания топливной биомассы, в том числе с переводом на нее газовых котлов, и требований к качеству топлива и топливоподготовке.

ВЫВОДЫ

Топливная биомасса, прежде всего твердые агропромышленные отходы (солома, лузга), может стать существенным компонентом ТЭК Украины, а ее такие свойства, как высокий выход летучих веществ, делающий возможным низкотемпературное воспламенение и сжигание, и низкое содержание серы, предопределяют ее приоритетное использование для замены природного газа в коммунальных и промышленных

котельных. Однако ряд физико-химических и теплотехнических свойств топливной биомассы существенно отличает ее от угля, требует учета при создании технологий ее сжигания. В частности, это низкие температуры плавкости золы, связанные с высоким содержанием щелочных металлов, высокое содержание кислорода в органической части и потенциально неполный выход водорода на стадии пиролиза.

Появившиеся в последнее время гармонизованные с международными национальные стандарты Украины на подготовку и анализ проб топливной биомассы еще не апробированы в Украине. Начатое в институте «УкрНИИуглеобогащение» комплексное исследование нескольких видов отечественной соломы и лузги с апробацией новых стандартных методов позволит отработать их применение и дать исходные данные для создания энергоустановок на топливной биомассе, а также для разработки стандартных требований к ее качеству и топливоподготовке.

ЛИТЕРАТУРА

1. Майстренко А.Ю., Чернявский Н.В. Влияние качества угля на эффективность его пылевидного сжигания на ТЭС Украины // Сборник докл. 5-й научн.-практ. конф. «Минеральная часть топлива, очистка котлов, улавливание и использование золы». – Челябинск, 2011. - Т.1. – С. 190-198.
2. Новітні технології біоенергоконверсії: Монографія / Я.Б.Блюм, Г.Г.Гелетуха, І.П.Григорюк та ін. – К.: «Аграр Медіа Груп», 2010. – 326 с.
3. Базеєв Є.Т. Оцінка обсягів та преспективи споживання котельно-пічного палива комунальною теплоенергетикою України // В кн.: Комунальна енергетика України: Стан, проблеми, шляхи модернізації. Т.1. – К.: ІТТФ НАН України, 2007. – С.19-22.
4. Современное состояние и перспективы развития биоэнергетики в Украине / Г.Г.Гелетуха, Т.А.Железная, Н.М.Жовмир, Ю.Б.Матвеев // Промышленная теплотехника. – 2005. – Т.27, №1. – С.78-85.
5. Экспериментальное исследование процесса совместного факельного сжигания антрацита с древесной биомассой / Н.И.Дунаевская, Я.И.Засядько, Т.С.Щудло и др. // Энерготехнологии и ресурсосбережение. - 2009. - №3. - С.10-17.
6. Энергетическое использование органических отходов промышленности и сельского хозяйства / М. Губинский и др. // Вісник Держ. університету «Львівська політехніка». Спец. випуск «Проблемі економії енергії». – 1998. – С.179-182.
7. Перспективы использования в Украине современных технологий термохимической газификации и пиролиза биомассы / Г.Г. Гелетуха, Т.А. Железная и др. // Промышленная теплотехника. – 1997. – т. 19, № 4-5. – С. 115-120.
8. Майстренко А.Ю., Чернявский Н.В., Стегний Н.Г. Техническое обоснование нормативных требований к качеству энергетических углей и ценовая шкала как средство их обеспечения // Экотехнологии и ресурсосбережение. – 2007. - №6. – С.3-8.
9. 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. – 184 с.
10. Шлакование и образование отложений в газовом тракте котла / А.Н.Алехнович, В.В.Богомолов, В.Е.Гладков, Н.В.Артемьева // Теплоэнергетика. – 1997. - № 3. – С. 64-68.
11. Аналитическая химия и технический анализ угля / И. В. Авгушевич, Т. М. Броновец, И. В. Еремин, А. В. Медведев, В. Ф. Чурбаков. – М.: Недра, 1987. – 336 с.
12. Філіппенко Ю.М. Вплив мінеральних компонентів на теплотехнічні характеристики енергетичного вугілля: Автореф. дис. ... канд.. техн. наук: 05.14.06. – Київ: ІГ НАН України, 2010. – 20 с.