

Е. В. Дубоделова, ассистент; Н. И. Ермоленко, аспирант;
П. И. Письменский, магистрант; Ю. В. Максимук, ст. науч. сотрудник НИИ ФХП БГУ;
В. В. Фесько, инженер НИИ ФХП БГУ

ИССЛЕДОВАНИЕ СОСТАВА И ТОПЛИВНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК СОЛОМЫ И ДРЕВЕСНЫХ ГРАНУЛ

In given article results of researches of fuel characteristics of various kinds of the vegetative raw material used for manufacture of fuel granules are represented. Definition of a chemical composition of the fuel breeds of deciduous and coniferous wood and straw is made for an explanation of the received characteristics. It is established, that by the alternative to wood of coniferous breeds used for reception of fuel granules, invaluable soft hardwood, widely growing on territory of Belarus, and such withdrawal from manufacture of agricultural production as straw can act. The given of raw material possessing rather low initial moisture, provide a tall heat of combustion from 15,0 up to 20,6 MJ/kg and a sufficient level of ash content – 0,3–8,7%. Introduction in industrial production of fuel granules of new kinds of vegetative raw material does not demand essential changes of technological process.

Введение. В настоящее время древесному топливу в Республике Беларусь уделяется значительное внимание [1, 2]. Это связано с его высоким технически реализуемым потенциалом – от 3,5 до 3,7 млн. т у. т. в год. Особый интерес среди большого разнообразия видов древесного топлива, несомненно, вызывают гранулы, обладающие рядом следующих достоинств:

- 1) высокая энергоемкость;
- 2) большая насыпная плотность;
- 3) высокая конкурентоспособность;
- 4) экологичность;
- 5) удобство применения.

Видимо, поэтому этот вид топлива рассматривают в Европе как «топливо будущего» или «топливо с уверенностью в будущем». В Республике Беларусь топливные гранулы получают из древесины сосны в виде отходов лесопиления. Однако в настоящее время увеличивается использование в деревообрабатывающей промышленности и производстве мебели древесины лиственных пород, поэтому количество таких отходов возрастает, а вместе с тем и интерес к топливу из них. Альтернативой древесным отходам для прессования топливных гранул могут быть и сельскохозяйственные отходы, такие как солома и шелуха зерновых культур, риса, кукурузы, подсолнечника, рапса и т. д. Сельскохозяйственные отходы имеются в значительном количестве в большинстве сельских регионов, особенно в регионах с небольшими лесными массивами. Удельный вес отходов, образующихся при переработке сельскохозяйственной продукции, приведен в табл. 1.

Из данных, представленных в табл. 1, видно, что для всех производимых в Республике Беларусь сельскохозяйственных культур характерен значительный удельный вес образующихся после их переработки отходов. Наибольшее количество отходов наблюдается для таких культур, как пшеница и кукуруза (от 2,0 до 2,4 т). Нельзя не заметить, что независимо от вида сельскохозяйственных культур в составе отходов преобладает солома.

Таблица 1

Доля отходов, приходящихся на 1 т произведенной сельскохозяйственной продукции

Вид сельскохозяйственных культур	Вид отходов	Количество отходов на 1 т готового продукта, т
Пшеница	Солома, шелуха	2,0
Кукуруза	Стебель, листья	2,4
Ячмень	Солома, отруби	1,5

Исходя из вышесказанного, можно сделать вывод о том, что перспективным сырьем для производства топливных гранул являются отходы переработки древесины лиственных пород и солома.

Поэтому цель работы заключалась в исследовании состава и топливных характеристик соломы и отходов древесины лиственных пород для оценки возможности их использования при получении топливных гранул.

Основная часть. Для оценки топливных характеристик соломы и древесных гранул проводили их испытания на влажность рабочего топлива, его зольность, высшую и низшую теплоты сгорания. Влажность определяли по ГОСТ 27314 путем высушивания навески топлива при температуре от 105 до 110°C в открытых алюминиевых бюксах объемом 100 мл до постоянной массы. Перед извлечением из сушильного шкафа горячие бюксы закрывали крышками, помещали в эксикатор с хлористым кальцием и через 10 мин взвешивали. В качестве испытательного оборудования использовали сушильный шкаф «SNOL 24/200» с цифровым терморегулятором и точностью поддержания температуры в рабочей камере 2°C.

Зольность определяли как отношение массы предварительно обугленного без воспламенения остатка топлива, образовавшегося при прокаливании в низких фарфоровых тиглях при температуре 815°C в течение 60 мин, к массе взятой навески (~1 г). В качестве испытательного

оборудования для прокаливания применяли муфельную печь МИМП-3П с программируемым изменением температуры и точностью ее поддержания в рабочей камере 2°C. Горячие тигли после прокаливания выдерживали 5 мин на воздухе, затем помещали в эксикатор без осушителя и взвешивали через 15 мин (ГОСТ 11012).

Теплоту сгорания измеряли в бомбовом изопериболическом калориметре «В-08МА» с изотермической водяной оболочкой. Энергетический эквивалент прибора со статической бомбой типа II определяли на основании калибровочных опытов с сертифицированным образцом бензойной кислоты марки К-3. Погрешность энергетического эквивалента, рассчитанная как среднее отклонение для доверительного интервала 95%, не превышала 0,1%. Образцы сжигали в жаропрочных стальных тиглях в виде спрессованных на воздухе таблеток массой, равной 1,0–1,2 г. Подготовленные образцы помещали в калориметрическую бомбу из нержавеющей стали, которую без вытеснения атмосферного воздуха заполняли чистым кислородом до давления 3,04 МПа. Запалом служила медная проволока диаметром 0,5 мм. Для насыщения внутреннего пространства бомбы водяными парами в обводную канавку на дне бомбы добавляли 1 мл дистиллированной воды. Снаряженный калориметрический сосуд взвешивали на весах «Ohaus AV8101» с точностью $\pm 0,1$ г и помещали в гнездо калориметра. Поджигание образца осуществлялось путем подачи импульса электрического тока. Расчет высшей и низшей теплоты сгорания по данным калориметрического опыта проводился по формулам, приведенным в ГОСТ 147.

Результаты испытаний различных видов сырья на топливные характеристики представлены в табл. 2.

Из табл. 2 видно, что наилучшими топливными характеристиками обладают гранулы,

полученные из древесины хвойных пород. Что касается лиственной древесины, то гранулы из них имеют более высокую зольность от 0,8 до 1,2% по сравнению с хвойными породами. В то же время древесина ольхи при горении выделяет столько же тепла, как и сосна. Солома, несомненно, уступает древесине по топливным показателям: для нее характерны более высокая зольность и более низкая теплота сгорания, а также повышенное содержание серы и хлора. Тем не менее величины показателей достаточны для получения из соломы топливных гранул с показателями качества, соответствующими ТУ РБ 800017886.001-2006.

Для объяснения полученных топливных характеристик проводили анализ состава исходного сырья, используемого для получения топливных гранул, по следующим основным компонентам: целлюлоза, лигнин и экстрактивные вещества. Указанные компоненты сырья определяли, руководствуясь общепринятыми методиками, изложенными в литературе [3, 4]. Полученные результаты представлены в табл. 3.

Из табл. 3 видно, что образующиеся из соломы и древесины топливные гранулы содержат в своем составе достаточно большое количество лигнина и целлюлозы, что объясняет высокие значения высшей и низшей теплоты сгорания. При этом в лиственной древесине содержание лигнина меньше, чем в хвойной (21,8 и 24,7% соответственно).

Именно этим объясняется, по нашему мнению, пониженная теплотворная способность гранул, полученных из древесины лиственных пород. Наличие большого количества экстрактивных веществ в соломе обуславливает ее высокую зольность и низкую теплотворную способность. С присутствием этих веществ связывается способность растения поглощать большое количество минеральных компонентов.

Таблица 2

Топливные характеристики древесных гранул и соломы

Показатель	Вид сырья для получения топливных гранул			
	солома	сосна	дуб	ольха черная
Рабочее топливо				
Влажность, %	6,8	6,6	7,3	3,9
Зольность, %	8,1	0,3	0,8	1,2
Высшая теплота сгорания, МДж/кг	16,41	19,79	18,90	19,80
Низшая теплота сгорания, МДж/кг	15,00	18,39	17,49	18,43
Сухое топливо				
Зольность, %	8,7	0,3	0,9	1,2
Высшая теплота сгорания, МДж/кг	17,60	21,20	20,40	20,60

Таблица 3

**Компонентный состав сырья (%),
используемого для получения
топливных гранул**

Компонент	Сосна	Ольха черная	Солома
Целлюлоза	39,6	42,7	37,5
Лигнин	24,7	21,8	23,4
Экстрактивные вещества	1,8	7,4	13,6

Из представленных данных видно, что отходы древесины лиственных пород и солома могут быть использованы для производства топливных гранул. Опытные промышленные испытания в условиях работы цеха топливных гранул ИП «Вуден Хаус» (г. Слуцк) показали, что вовлечение в производство отходов лиственных пород может быть осуществлено за счет повышения температуры на 5–7°C в матрице прессового оборудования. Это обусловлено тем, что в процессе образования гранул происходит размягчение лигнина древесины, находящегося в межклеточном пространстве, и мягкий пиролиз гемицеллюлоз. Благодаря присутствию в такой древесине большего количества гемицеллюлоз по сравнению с хвойными породами [3, 4] при повышенных температурах (в пределах от 123 до 130°C) образуется естественное связующее, которое растекается по поверхности древесных частиц и обеспечивает их адгезионное взаимодействие с приданием получаемой массе необходимой формы и транспортной прочности. В остальном технологический процесс производства топливных гранул не требует изменений.

По мнению специалистов, процесс прессования топливных гранул из соломы в матрице прессового оборудования аналогичен процессу с применением древесных опилок и стружки. Имеются отличия в части подготовки сырья для прессования, что связано с особенностями данного продукта, прежде всего с длиной ее стеблей. Существенным преимуществом соломы является то, что ее влажность, как правило, значительно ниже влажности древесных опилок после распиловки. Особое место при подготовке соломы занимает ее сушка. Этот процесс рекомендуется проводить непосредственно в тюках. При этом можно использовать простые камерные сушилки, аналогичные сушилкам для древесины. Учитывая возможность применения жесткого режима сушки, можно использовать сушилки более простой конструкции без специального оборудования и автоматики. После сушки солома должна пройти стадии резки и дробления. Измельчение соломы на оптимальную фракцию (до 1 мм) требует установки специального оборудования – со-

ломорезок. В связи с тем, что уборка соломы осуществляется механизированным способом, в тюкованной соломе присутствуют частицы почвы. В процессе образования гранул этот абразив может оказать негативное влияние на рабочий инструмент пресса. Устранить недостаток можно путем центрифугирования сырья. В целом организация процесса производства топливных гранул и его оснащение средствами механизации зависит от конкретных условий и возможностей производителя.

Следует отметить, что условия сжигания гранул необходимо адаптировать к конкретному виду сырья, поскольку для древесных и соломенных гранул они будут различаться.

Заключение. На основании проведенных исследований можно сделать вывод о том, что альтернативой древесине хвойных пород, используемой для получения топливных гранул высокого качества, может выступать малоценная древесина мягколиственных пород, широко произрастающая на территории Республики Беларусь, а также твердые отходы переработки сельскохозяйственной продукции. Данные виды сырья, обладающие сравнительно небольшой исходной влажностью, обеспечивают высокую теплоту сгорания (от 15,0 до 20,6 МДж/кг) и достаточный уровень зольности (0,3–8,7%).

Литература

1. Целевая Программа обеспечения в Республике не менее 25% объема производства электрической и тепловой энергии за счет использования местных видов топлива и альтернативных источников энергии на период до 2012 года: постановление Совета Министров Респ. Беларусь от 30.12.2004 г., № 1680 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://pravo.kulichki.com>. – Дата доступа: 20.04.2009.
2. Государственная комплексная программа модернизации основных производственных фондов Белорусской энергетической системы, энергосбережения и увеличения доли использования в Республике собственных топливно-энергетических ресурсов в 2006–2010 годах: Указ Президента Респ. Беларусь от 25.08.2005 г., № 399 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://pravo.kulichki.com>. – Дата доступа: 20.04.2009.
3. Азаров, В. И. Химия древесины и синтетических полимеров / В. И. Азаров, А. В. Буров, А. В. Оболенская. – СПб.: СПбЛТА, 1999. – 628 с.
4. Никитин, В. М. Химия древесины и целлюлозы / В. М. Никитин, А. В. Оболенская, В. П. Щеголев. – М.: Лесная пром-сть, 1978. – 368 с.