

2. Дашков, В.Н. Возновляемые источники энергии в ресурсосберегающих технологиях АПК: монография / В.Н. Дашков. - Барановичи, 2003. - 184с;
3. Равич, М.Б. Топливо и эффективность его использования / М.Б. Равич. - Москва: Изд. «Наука», 1971 - 358с;
4. Соловьев, В.Н. Обработка элементов технологии газификации местных видов топлива и органических отходов в обращенном режиме / В.Н. Соловьев, Г.И. Биза, Г.И. Фокша. - Минск: ОИЭЯИ Сосны НАНБ, 2003. - 37с;

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВТОРИЧНОЙ ПРОДУКЦИИ РАСТЕНИЕВОДСТВА В КАЧЕСТВЕ БИОТОПЛИВА

Оганезов И.А., к.т.н., доцент, Ширшова В.В., к.т.н., доцент

*УО «Белорусский государственный аграрный технический университет»
г. Минск, Республика Беларусь*

Высокая стоимость органического топлива и нефтепродуктов требует более рационального использования местных ресурсов путем совершенствования комплексной переработки сырья. Это приводит к необходимости применения отходов (остатков) растениеводства как для получения новой продукции, так и в качестве твердого биотоплива.

Основным твердым отходом растениеводства является солома зерновых и масличных культур, количество которой превышает выход целевого продукта (зерна или маслосемян) в 1,5–2,4 раза. Поскольку кормовая ценность соломы относительно мала, то около половины ее используется в качестве подстила и возвращается на поля в виде органического удобрения.

В последнее время в хозяйствах Республики Беларусь все чаще солому используют в качестве топлива. Кроме того, солома может служить сырьем для получения целлюлозы.

Энергетическая ценность соломы по принятым оценочным показателям весьма высокая. Теплотворная способность 1 т сухого вещества соломы эквивалентна 445 кг сырой нефти. По показателю теплотворности пшеничная солома (15,5 МДж/кг) приближается к дровам (14,6–15,4 МДж/кг) и превосходит бурый уголь (12,5 МДж/кг). При использовании для сжигания соломы с площади 1 га она способна заменить 1200–1600 л жидкого топлива. Выход соломы в 3 т/га содержит количество энергии, эквивалентное энергии, содержащейся в 1000 л мазута или в 2,7 тыс. м³ природного газа.

Для оценки энергоэффективности твердого соломенного топлива были изучены основные характеристики и элементный состав различных образцов соломы. Для корректного сравнения все значения пересчитаны на абсолютно сухое топливо и представлены в таблице 1. В эту таблицу включены справочные и литературные данные по характеристикам соломы, полученные в других странах, а также аналогичные параметры для древесного топлива.

Расхождения $\pm 1,2$ МДж/кг в значениях нижней теплоты сгорания соломы в пересчете на сухое топливо (15,8–18,2 МДж/кг) обусловлены, главным образом, различной зольностью образцов 2–10%, поскольку величины нижней теплоты сгорания в пересчете на сухое и обеззоленное топливо для всех видов соломы различаются незначительно — $\pm 0,5$ МДж/кг.

Величина и количество углерода в соломе в среднем на 10% меньше, чем у древесного топлива, что связано с наличием в древесном топливе лигнина и коры, имеющих более высокую энергоемкость и содержание углерода соответственно. Значения зольности и содержания азота в соломе в среднем в 2 раза выше по сравнению с древесным топливом из-за большего количества в соломе минеральных и органических веществ, обеспечивающих ее быстрый рост.

Таблица 1 – Сравнительный анализ данных по зольности (А), содержанию углерода (С), водорода (Н), азота (N), серы (S), хлора (Cl), низшей теплоты сгорания (Q_d) для соломы и древесного топлива, пересчитанных на абсолютно сухое состояние (d)

Вид биотоплива	A ^d	C ^d	H ^d	N ^d	S ^d	Cl ^d	Q _d ^d
	%						МДж
Солома							
Солома рапса (РБ)	5,8	45,16	5,49	0,67	0,62	0,77	16,90
	5,9	46,80	5,76	0,79	0,30	0,82	17,42
Солома пшеницы (РБ)	7,0	44,54	5,59	0,53	0,15	0,91	16,50
Солома тритикале (РБ)	6,8	45,41	5,66	0,57	0,15	0,50	16,94
Солома (РБ) в среднем	5-7	44,5-46,8	5,4-5,8	0,5-0,8	0,1-0,7	0,5-1,0	16,5-17,5
Солома рапса (Украина)	4,8	47,86	5,74	0,41	0,12	0,16	17,16
Солома рапса (Украина)	9,8	43,10	5,22	0,61	0,05	0,27	15,82
Солома тритикале (Украина)	8,3	43,83	5,21	0,55	0,08	0,24	16,61
Солома (Дания)	2-7	47-48	5,4-6,4	0,3-1,5	0,1-0,2	0,1-1,1	17,2-18,2
Солома (Финляндия)	4,5-6,5	45-47	5,8-6,0	0,4-0,6	0,01-0,13	0,14-0,97	16,7-17,8
Солома (Россия)	2,6-7,0	47,5	5,9	0,6	0,1	-	17,7
	3,3-4,3	46,6-47,8	5,5-5,8	0,3-0,5	0,1-0,2	0,2-0,9	17,4-18,2
Итого	2-10	43-48	5,2-6,4	0,3-1,5	0,05-0,6	0,1-1,0	15,8-18,2
Древесное топливо							
Щепа древесная (Дания)	0,3-6	49-52	5,2-6,1	0,1-0,7	<0,1	<0,1	18,3-20,3
Древесное топливо (РБ)	0,3-6	48,6-54,2	5,4-6,2	0,03-0,37	0,03-0,07	-	17,2-20,2
Итого	0,3-6	48-54	5,2-6,2	0,03-0,7	0,03-0,1	0,02-0,1	17,2-20,3

Повышенное содержание в соломе серы (~ в 4 раза) и особенно хлора (~ в 10 раз) по сравнению с древесным топливом не позволяет относить соломенное топливо к экологически чистому и ограничивает его широкое использование. Кроме того, характерное для соломы высокое содержание калия и щелочей приводит к низким значениям температур деформации — t_1 , размягчения — t_2 и жидкоплавленного состояния золы — t_3 (таблица 3) и, как следствие, к образованию после сжигания трудноудаляемого стеклообразного остатка.

Такой состав соломы связан, главным образом, с активным использованием в агротехнологиях минеральных удобрений, средств защиты растений и т.п. для увеличения выхода (урожайности) целевых продуктов. При выращивании энергетических растений, например, мискантуса, быстрорастущей ивы, либо заготовке энергетического сена экологическая составляющая будет более благоприятной, так же как и при использовании отходов зернопереработки.

Основными преимуществами использования соломы в качестве твердого биотоплива являются ее невысокая стоимость и низкое, особенно по сравнению с древесным, влажосодержание в исходном рабочем топливе, получаемое прессованием в тюки или рулоны непосредственно на полях. Основные недостатки — уже отмеченная выше низкая экологичность и малая плотность соломы, что в обычных условиях ограничивает целесообразность ее использования в районе сбора. В Республике Беларусь солома в виде рулонов в качестве биотоплива чаще всего используется для сушки зерна.

Без подготовки для топливных нужд в большинстве случаев целесообразно использовать щепу, представляющую собой на 50% отходы лесозаготовки при рубках главного пользования и на 50% отходы от некондиционной древесины, полученной при

рубках ухода и прореживания, а также при измельчении пней. Применение такой щепы и соломы представляет собой утилизацию отходов с целью получения тепла. Удельная массовая теплота сгорания щепы с естественной влажностью 40% составляет примерно 10,0 МДж/кг, что меньше аналогичной величины для соломы — 14,3 МДж/кг, в то время как удельная объемная теплота сгорания для щепы (3,1 МДж/м³) выше, чем у соломы (2,2 МДж/м³).

Древесные гранулы (или пеллеты) при сжигании дают значительно более высокий тепловой эффект по сравнению с исходной щепой или дровами как по массе (10,0 МДж/кг → 16,6 МДж/кг), так и по объему (3,1 МДж/м³ → 10,0 МДж/м³). Получение такого топлива из отходов глубокой переработки древесины при изготовлении плит, фанеры и т.п. во многих случаях будет способствовать снижению себестоимости основного производства.

Прессование соломы в брикеты также приводит к существенному возрастанию объемной теплоты сгорания с 2,2 МДж/м³ до 7,6 МДж/м³, но при этом удельная (массовая) теплота сгорания увеличивается незначительно с 14,3 МДж/кг до 15,2 МДж/кг по сравнению с гранулированием древесного топлива.

В качестве твердого биотоплива могут использоваться другие, твердые сельскохозяйственные отходы (остатки), качественные показатели которых представлены в таблице 2.

По характеристикам, пересчитанным на сухое вещество, таким как зольность, низшая теплота сгорания, содержание серы и хлора, эти биотоплива занимают промежуточное значение между соломой и древесным топливом. Целесообразно переводить на топливо только те остатки либо некондиционное сырье, дальнейшее использование которых энергоэффективно, т.е., по сути, утилизировать отходы, одновременно повышая общую эффективность основного производства. Большой «ассортимент» отходов открывает широкие возможности при создании смесевых твердых биотоплив. Таким образом, также представляется перспективным и целесообразным получение новых видов твердого биотоплива, ориентированного на конкретные производства продукции из сельскохозяйственного или природного сырья.

Таблица 2 – Зольность (A^d) и низшая теплота сгорания (Q_i^d) отходов сельскохозяйственных культур, пересчитанных на абсолютно сухое состояние (d)

Вид биотоплива	A^d , %	Q_i^d , МДж/кг
Шрот рапса и сурепицы (РБ)	7-8	18,1-19,1
Льнокостра (Оршанский льнокомбинат)	2,0	18,25
Льнокостра (Пружанский льнокомбинат)	1,85	19,05
Льнокостра	4,3	18,1
Лузга гречихи (РФ)	5,9	18,14
Лузга овса (РБ)	2,8	17,75
Лузга подсолнечника (Украина)	3,4	19,08
Лузга подсолнечника	2,8	18,4
Лузга подсолнечника	1,9-6,0	17,9-19,3
Семена пшеницы/ржи (50/50)	1,8	17,11
Отходы зернопереработки хлебокомбинатов (РБ)	6,7-12,7	16,3-17,3
Итого	1,8-12,7	16,3-19,3

Технология уборки соломы с перспективами последующего использования для топлива не отличается от традиционной. Оставленные комбайном валки подбираются подборщиками любого типа. При этом солома должна быть достаточно сухой. Затем прессованная солома складывается вблизи места использования.

В ОАО «Агрокомплект» г. Могилева разработана конструкция, изготовлен и испытан

опытный образец воздухонагревателя ВНС-1,5, работающего на соломе.

Воздухонагреватель ВНС-1,5 предназначен для сжигания местного твердого топлива (соломы) и подачи теплоносителя в сушилку М-819 для сушки зерновых культур. Топливом для воздухонагревателя служит солома, прессованная в рулоны: диаметр рулона до 1800 мм, длина рулона до 1450 мм, влажность не более 25%.

За время эксплуатации опытного образца на зернотоке д. Лукоть в УКСП «Совхоз «Первомайский» Дрибинского район; в 2006 г. на сушилке М-819 было переработано 2075,7 т зерна со снятием влажности с 16–35% до 13–14%. Заготовлено семян озимой пшеницы 120 т. Для сушки зерна было израсходовано 100 т соломы. Температура нагретого воздуха в сушилке регулируется в пределах 50–110 °С, температура уходящих дымовых газов — 100 °С, температура в жаровом канале топki 300–600 °С, тепловая мощность воздухонагревателя 1500 кВт.

Расчеты специалистов хозяйства также показали, что в УКСП «Совхоз «Первомайский» ежегодно собирается около 500 т озимой соломы, которую можно использовать в качестве топлива для сушилки. Этого количества соломы достаточно, чтобы просушить около 10 тыс. т зерна.

В процессе эксплуатации воздухонагревателя были также выявлены и недостатки конструкции, требовавшие доработки. Опытный образец ВНС-1,5 прошел испытание на «Белорусской МИС», получено разрешение на изготовление опытной партии ВНС-1,5 для проведения приемочных испытаний.

До начала уборки изготовлены, смонтированы и запущены в работу три воздухонагревателя ВНС-1,5 в СГЦ «Вихра» Мстиславского района, ЗАО «Горы» Горещкого района, СПК «Сухаревский» Могилевского района. В процессе уборки смонтирован ВНС-1,5 в УКСП «Тишовка» Могилевского района. Произведена модернизация ВНС-1,5 в УКСП «Первомайский» Дрибинского района. Подведенные итоги работы воздухонагревателей ВНС-1,5 в хозяйствах Могилевской области показали высокую эффективность данных установок, работающих совместно с сушилками М-819.

В процессе работы опытной партии водонагревателей выявлен ряд недостатков конструкции. Необходимо

- увеличить размеры топki и загрузочных дверей (для использования рулонов, спрессованных пресс-подборщиками ПР-Ф-180, и рулонов неправильной геометрической формы);

- изменить конструкцию и крепление шлюзового затвора;
- изменить конструкцию дверей и запорного устройства дверей для загрузки рулонов в целях исключения их коробления;
- доработать конструкцию крыши воздухонагревателя;
- доработать технологию теплоизоляции металлоконструкции топki;
- подобрать оптимальную мощность дымососа.

В качестве топлива целесообразнее использовать солому озимых культур — ржи, тритикале и пшеницы, в которых содержится наименьшее количество вредных элементов (азота, калия, хлора, серы), вызывающих коррозию металлоконструкции. В соломе ячменя и овса обычно больше травяных примесей и хлора. Использовать рапсовую солому в качестве топлива нельзя из-за образования при ее сгорании большого количества смол, которые приводят к закоксуыванию газоходов теплообменника и выходу воздухонагревателя из строя.

Рулоны соломы должны иметь хорошую плотность и правильную геометрическую форму. Нарушение этих требований приводит к проблемам при загрузке рулонов в топку: загоранию соломы при открытых дверях и в конечном итоге к короблению шлюзовых затворов и дверей. Влажность соломы не должна превышать 25%. Наиболее подходящая ее влажность для сжигания — 12–18%. При сжигании соломы (из-за высокого содержания щелочных металлов относительно низкие температуры размягчения и плавления золы) шлаковые образования забивают колосниковые решетки и препятствуют поступлению

воздуха в зону горения. Опыт работы воздухонагревателей показал, что при влажности соломы более 15% необходимо после сгорания каждого рулона соломы через дверцу топки разгнать кочергой слой шлака на колосниковой решетке и, при необходимости, удалить этот шлак, а после 12 часов работы топки удалять шлак через дверцы зольника.

Эксплуатация опытной партии воздухонагревателей ВНС-1,5 показала, что наибольшая эффективность работы обеспечивается при непрерывной работе всего зерносушильного комплекса. В конструкции воздухонагревателя в качестве материала для стен и аккумулятора тепловой энергии используется огнеупорный кирпич (более 24 т), который обеспечивает долговечность топки. При неисправностях механизмов КЗС, а также при использовании сушилки с большими перерывами в работе тепло, аккумулированное топкой, не используется, увеличивается расход соломы на последующий разогрев топки.

Кроме того, анализ работы сушилок показал, что, за исключением СГЦ «Вихра» обслуживающий персонал недостаточно хорошо знал принципы работы сушилки, технологии сушки, регулировок, правила технического обслуживания и ремонта, что приводило к недостаточно эффективному использованию эксплуатируемых зерносушильных комплексов.

Так, интенсивность сушки зерна зависит, главным образом, от двух факторов: температуры и количества подаваемого воздуха. Температура воздуха тесно связана с температурой нагрева зерна. Сушка зерна при слишком высокой температуре отрицательно влияет на его биохимические свойства. В зависимости от культуры и степени влажности зерна должны выбираться наиболее рациональные температуры сушки.

Во время процесса сушки зерна очень важным вопросом является правильное регулирование количества воздуха, так как от этого зависит интенсивность испарения влаги. Поэтому количество воздуха следует регулировать до максимальных значений, т.е. немного ниже предела «укоса зерна». Четыре вентилятора сушилки служат для подвода как горячего, так и охлаждающего воздуха, поэтому после регулирования количества нагретого воздуха следует отрегулировать количество подаваемого охлаждающего воздуха и наоборот. Охлаждение является необходимой операцией, так как предохраняет зерно от вторичного увлажнения во время складирования. Оно должно охлаждаться до температуры от 5 °С до 10 °С выше температуры окружающей среды. В случае высокой влажности атмосферного воздуха (свыше 70%) интенсивность охлаждения следует уменьшить, чтобы не допустить вторичного увлажнения зерна. Для каждого вида зерна и степени его влажности надо соответственно отрегулировать количество воздуха.

Во время работы сушилки с открытыми клапанами вентиляторов камеры охлаждения и сушки зерна должны быть заполнены зерном, а в бункере должен находиться запас зерна. Этот запас определяется посредством сигнализатора, а слой зерна должен быть высотой не менее 0,5 м. Несоблюдение указанного принципа является причиной «укоса зерна» и выбрасывания его воздухом из сушилки через фильтры.

Зерно, направляемое в сушилку, должно быть очищено от примесей не только с целью предотвращения неэффективного использования топлива, а прежде всего из-за возможного прекращения прохода зерна через колонну сушки. Самыми опасными в этом отношении являются длинные примеси, т.е. веревки и длинная солома. Минимальная чистота зерна, предназначенного для сушки, — 94%, кукурузы — 90%. Содержание в зерне соломы длиной не более 50 мм не должно превышать 0,2%. Влажность, при которой гарантируется правильный процесс сушки, не должна превышать 30% у зерна хлебных злаков и 40% у зерна кукурузы.

В процессе сушки необходимо контролировать:

- влажность зерна перед сушкой и после нее;
- температуру нагретого воздуха;
- температуру нагрева зерна;
- температуру газов в жаровом канале;
- температуру газов в дымовой трубе;

- температуру зерна после охлаждения;
- периодически очищать от загрязнений мешки, находящиеся под фильтрами и разравнивающим устройством.

Преимущества сушки зерна на соломе:

1. Неограниченный ресурс топлива (для сушки используется 3–5% выращенной соломы).
2. Относительно низкая стоимость соломы (по данным хозяйств, от 8 до 25 тыс. руб. за 1 т в ценах 2007 года).
3. Относительно низкие транспортные расходы.
4. Существенная экономия жидкого топлива.
5. Возможности использования соломы, прессуемой отечественными пресс-подборщиками ПР-Ф-110, ПР-Ф-145, ПР-Ф-180, без ее предварительной подготовки, влажностью до 25%.
6. Возможности сушки как фуражного, так и продовольственного и семенного зерна за счет высокой стабильности поддержания постоянной температуры теплоносителя в пределах 50-110 °С.
7. Простота конструкции, высокая надежность воздухонагревателя.
8. Долговечность конструкции, обеспечиваемая материалом топки (огнеупорный кирпич) и теплоизоляцией всех металлоконструкций топки, обеспечивающей защиту металла от коррозии выделяющимися при сжигании соломы веществами.
9. Сохранение высокого качества зерна за счет своевременной переработки.
10. Значительный экономический эффект.

Недостатки сушки зерна на соломе:

1. Увеличение количества обслуживающего персонала на 1 человека.
2. Затраты на заготовку, доставку и хранение соломы.
3. Заготовка рулонов соломы достаточной плотности и правильной геометрической формы.
4. Использование большого количества огнеупорного кирпича (6,5 тыс.шт.), не производимого в республике.
5. Большая трудоемкость футеровки и теплоизоляции топки и невозможность проведения этих работ в холодное время года.
6. Дополнительный расход электроэнергии на работу дымососа.
7. Зависимость результатов работы от квалификации оператора и соблюдения им технологии сушки зерна.

Сушилки М-819 являются наиболее приемлемыми для перевода их на работу с использованием в качестве топлива соломы благодаря конструкции теплообменника, производительности, возможности регулировки объемов горячего воздуха для сушки и холодного для охлаждения зерна.

ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ ИННОВАЦИОННЫЙ СЦЕНАРИЙ НА ОСНОВЕ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ

Пашинский В.А. к.т.н., доцент

*Международный государственный экологический университет им. А.Д. Сахарова
г. Минск, Республика Беларусь*

В условиях мирового финансового кризиса работа по энергосбережению приобретает особое значение, как один из основных путей снижения издержек на производство промышленной продукции и повышение ее конкурентоспособности. 2008 год, который характерен высокой активностью в плане энергосбережения в РБ, позволил снизить