

ЛИТЕРАТУРА

1. Развитие мировой гидроэнергетики <http://www.hydropower.ru/hydropower/development.php>

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ОТХОДОВ РАСТЕНИЕВОДСТВА В КАЧЕСТВЕ КОМПОНЕНТОВ КОМПОЗИТНОГО ТОПЛИВА

CROP WASTE USING AS COMPOSITE FUEL COMPONENTS

О. И. Родькин¹, Е. В. Зеленуха²

A. Rodzkin¹, A. Zelianukha²

¹Учреждение образования «Международный государственный экологический институт имени А.Д. Сахарова» Белорусского государственного университета, МГЭИ им. А.Д. Сахарова БГУ, г. Минск, Республика Беларусь
aleh.rodzkin@rambler.ru

²Учреждение образования «Белорусский национальный технический университет», г. Минск, Республика Беларусь
z_elen80@mail.ru

¹ International Sakharov Environmental Institute Belarusian State University, Minsk, Republic of Belarus

² Belarusian National Technical University, Minsk, Republic of Belarus

Проведены экспериментальные исследования по определению основных топливных свойств отходов растениеводства: влажности, зольности и теплоты сгорания. Среднее значение влажности анализируемых образцов составило около 10%, среднее значение зольности сухого топлива в несколько раз выше зольности древесного топлива, но, исходя из химического состава золы, она может использоваться в качестве минерального удобрения. Теплота сгорания анализируемых образцов достаточно высокая, что позволяет обосновать возможность их использования в качестве сырья для производства композитного топлива.

The experimental research for definition of the following basic fuel characteristics of agricultural waste were carried out: humidity, contents of ash, calorific value. The average humidity of the analyzed samples of fuel from waste was about 10% and average contents of ash were several times more compared with fuel from wood. The contents of chemical elements at the ash after firing enable it to use fuel from waste as mineral fertilizer for agricultural crops. The calorific value of fuel from agricultural waste is comparatively high and it means that it has good potential for composite fuel production.

Ключевые слова: отходы растениеводства, композитное топливо, теплота сгорания топлива, влажность, зольность топлива.

Keywords: crop waste, composite fuel, calorific value of fuel, humidity, ash content of fuel.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2023-2-233-236>

В условиях ограниченности топливно-энергетических ресурсов значительную роль для Республики Беларусь играет производство энергии из местных источников сырья. В соответствии с Государственной программой «Энергосбережение» на 2021-2025 гг. их доля должна составить не менее 16,5%. Это способствует наряду с использованием атомной энергии достижению нормативного уровня энергетической самостоятельности страны [1]. В данной работе рассматривается возможность использования отходов растениеводства (соломы рапса, льнокустры, соломы зерновых культур) в качестве компонентов композитного топлива на основе торфа.

Рапс является одной из основных технических культур Республики Беларусь, которая в структуре посевных площадей технических культур занимает 67,2%. Солома рапса является практически отходом сельскохозяйственного производства (растениеводства) и соответственно не требует дополнительных площадей и затрат для выращивания. В настоящее время данный отход в основном используется в качестве органического удобрения путем измельчения и заправки. В соответствии с [2] в Республике Беларусь наблюдается тенденция увеличения посевных площадей рапса. Так, в 2015 г. посевная площадь составляла 259 тыс. га, а в 2020 г. - 364 тыс. га. Валовой сбор рапса в хозяйствах всех категорий республики в период с 2015 г. по 2020 г. увеличился на 47,7% и составил 731 тыс. т. Также наблюдается рост урожайности рапса с 15,7 ц/га в 2015 г. до 20,6 ц/га в 2020 г. При сохранении таких показателей можно рассматривать возможность использования части соломы рапса в качестве топлива или компонента композитного топлива.

Также технической культурой Беларуси является лён. По объемам производства льноволокна Беларусь входит в число первых пяти стран мира из 26 его производящих. В соответствии с [2] в Республике Беларусь наблюдается тенденция увеличения посевных площадей льна. Так, в 2015 г. посевная площадь составляла 45 тыс. га, а в 2020 г. - 49 тыс. га. Валовой сбор льна в хозяйствах всех категорий республики в период с 2015 г. по 2020 г. увеличился на 14,5 % и составил 48 тыс. т.

С учетом природно-климатических и хозяйственных условий нашей страны перспективными для биоэнергетики культурами являются также зерновые и зернобобовые культуры. В Республике Беларусь площадь пашни, занятой под зерновыми культурами, за последнее десятилетие остается достаточно стабильной, а средний валовой сбор зерна в стране приближается к 8-9 млн. т, что соответствует производству приблизительно 9-10 млн. т соломы [2]. Возможность выделения определенных объемов соломы в качестве биотоплива зависит от ряда факторов, и это количество является нестабильным. Потенциальный объем использования соломы в качестве биотоплива на региональном уровне определяется на основе расчета балансового метода с учетом ее применения на другие цели. В аграрном секторе солома используется как источник корма для животноводства, для производственных целей (укрытие буртов, утепление ферм и т.д.), в качестве удобрения. Основной объем соломы используется в животноводстве в качестве подстилки и для производства органических удобрений. Возможный объем использования соломы на энергетические цели в рамках конкретного хозяйства может быть установлен после соответствующего экономического обоснования. Существует ряд технологий, которые используются в сельскохозяйственном производстве для сбора и транспортировки соломы. Для энергетических целей эффективной является технология прессования соломы в тюки или рулоны с дальнейшей транспортировкой к месту хранения и доработкой.

Эффективность использования отходов растениеводства в качестве компонента композитного топлива зависит от следующих топливных свойств: теплоты сгорания, определяющей энергетическую ценность ресурсов, влажности, зольности, химического состава. В связи с этим в работе проведены экспериментальные исследования по определению данных характеристик.

Определение влажности анализируемых образцов проводилось основным методом в соответствии с методикой [3]. Сущность метода заключается в высушивании пробы в сушильном шкафу с электрическим обогревом при температуре 105°C-110 °C и определении потери массовой доли влаги. Предварительно все пробы анализируемого сырья были измельчены до 1-2 см.

Определение зольности проводилось основным методом в соответствии с [3] в муфельной печи путем озоления навески с пробой и прокаливанием зольного остатка в тиглях.

Определение теплотворной способности проводилось калориметрическим методом в соответствии с [4]. Калориметрический эксперимент по сгоранию топлива происходит в измерительной камере, состоящей из внутреннего сосуда, мешалки, обеспечивающей равномерное распределение тепла во внутреннем сосуде, водяного цикла с нагревающим элементом для выравнивания температуры и автозаполнения внутреннего сосуда, температурного датчика для регистрации значений эксперимента, прибора подачи кислорода в сосуд разложения. При проведении эксперимента сосуд разложения с образцом погружается во внутренний сосуд. Для оптимизации процесса горения в сосуд разложения поступает чистый кислород до заданного давления (3 МПа). Внутренний сосуд заполняется водой рабочей температуры 25-30 °C, которая поддерживается в постоянном движении магнитной мешалкой. Образец топлива зажигается посредством электричества от медной проволоки, зафиксированной на зажигательной проволоке. Измеряется возрастание температуры в калориметрической системе. Фазы измерительного прибора отслеживаются с помощью измерительной программы. Далее вычислялась общая теплотворная способность образца исходя из значений веса образца, теплоемкости калориметрической системы и возрастания температуры воды в сосуде измерительной камеры.

Результаты определения топливных свойств анализируемых образцов отходов растениеводства приведены в таблице 1.

Таблица 1
Результаты определения топливных свойств анализируемых образцов отходов растениеводства

Наименование анализируемой пробы	Влажность, %	Зольность на сухое состояние, %	Низшая теплота сгорания аналитической пробы, кДж/кг	Низшая теплота сгорания рабочего топлива, кДж/кг
Льнокостра	9,10	2,2	16800	16610
Солома рапса	10,80	4,6	15580	15740
Солома зерновых	11,20	6,1	15170	15400

Как видно из таблицы 1, среднее значение влажности анализируемых образцов отходов растениеводства составило: для льнокостры – 9,1 %, для соломы рапса 10,8%, для соломы зерновых 11,2 %, т.е. порядка 10 %. Среднее значение зольности сухого топлива данных анализируемых образцов в несколько раз выше зольности древесного топлива (древесных опилок, пеллет). Однако, исходя из химического состава золы, она может использоваться в качестве минерального удобрения. Низшая теплота сгорания аналитической пробы для льнокостры

составила 16800 кДж/кг, для соломы рапса и соломы зерновых 15580 кДж/кг и 15170 кДж/кг соответственно. Теплота сгорания анализируемых образцов достаточно высокая, что позволяет обосновать возможность их использования в качестве сырья для производства композитного топлива. При определении низшей теплоты сгорания рабочего топлива влажность рабочего топлива для всех образцов анализируемого сырья была принята 10%.

На величину теплотворной способности оказывают влияние не только технические характеристики топлива, например, влажность, но и состав композитного топлива. В связи с этим, в работе проведены экспериментальные исследования по определению изменения теплоты сгорания композитного топлива на основе торфа с добавлением отходов растениеводства. Изменение теплоты сгорания топлива при добавлении соломы зерновых к торфу представлено на рисунке 1.

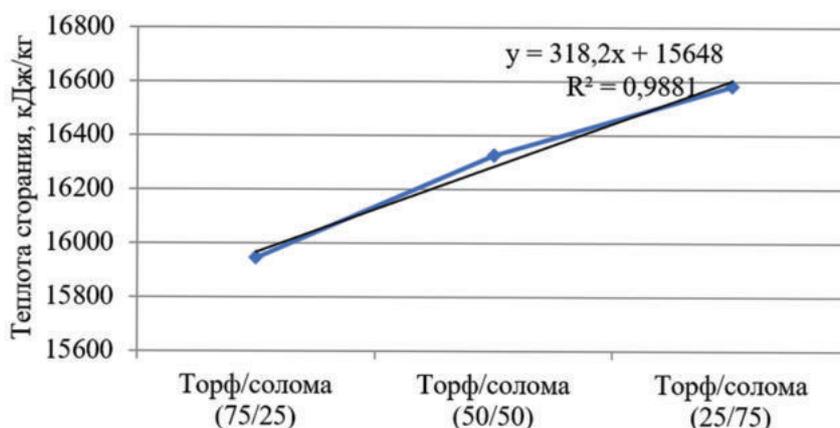


Рисунок 1 – Изменение теплоты сгорания топлива при добавлении соломы зерновых к торфу

Экспериментально установлено, что изменение величины низшей теплоты сгорания композитных образцов с учетом их состава имеет линейную зависимость. Далее расчетным путем определено изменение теплоты сгорания композитного топлива, базовым компонентом, которого выбран торф со следующими техническими характеристиками: влажностью – 20% и низшей теплотой сгорания рабочего топлива – 13,68 МДж/кг. Результаты приведены в таблице 2.

Таблица 2

Теплота сгорания композитного топлива на основе торфа с различным содержанием отходов растениеводства, МДж/кг

Наименование отходов растениеводства	Содержание отходов растениеводства в композитном топливе на основе торфа, %						
	20	30	40	50	60	70	80
Льнокостра	14,27	14,56	14,85	15,14	15,43	15,72	16,01
Солома рапса	14,06	14,25	14,44	14,63	14,82	15,01	15,20
Солома зерновых	14,02	14,20	14,37	14,54	14,71	14,88	15,06

В соответствии с данными, представленными в таблице 2, величина низшей теплоты сгорания композитных образцов выше, чем у чистого торфа.

При добавлении отходов растениеводства к торфу также изменяется и удельный расход топлива на производства тепловой энергии. Результаты расчета удельного расхода композитного топлива с различным содержанием отходов растениеводства на производство 1 Гкал тепловой энергии приведены в таблице 3.

Таблица 3

Удельный расход композитного топлива на основе торфа с различным содержанием отходов растениеводства, кг/Гкал

Наименование отходов растениеводства	Содержание отходов растениеводства в композитном топливе на основе торфа, %							
	10	20	30	40	50	60	70	80
Льнокостра	300	294	288	282	277	272	267	262
Солома рапса	302	298	293	289	285	281	277	274
Солома зерновых	303	299	295	292	288	285	282	278

Как видно из таблицы 3, при добавлении отходов растениеводства к торфу наблюдается тенденция снижения удельного расхода топлива на производство тепловой энергии. Так, увеличение содержания отходов растениеводства: льнокостры, соломы рапса, соломы зерновых в композитном топливе от 10% до 50% приводит к уменьшению расхода топлива на 7,7%, 5,6% и 4,9% соответственно.

В работе также проведены исследования по определению способности к прессованию льнокостры, соломы рапса, соломы зерновых и торфа с целью получения композитных топливных брикетов. Получение экспериментальных образцов композитных топливных брикетов осуществлялось на лабораторном прессе ПСУ-125. Механический процесс прессования исходного сырья на прессе ПСУ-125 осуществлялся в специальной пресс-форме, состоящей из цилиндрической матрицы и штемпеля. Процесс прессования всех видов исходного сырья производился в матрице, диаметр которой составлял 35 мм, а высота – 100 мм. Перед прессованием отходы растениеводства подвергались дроблению, а затем производилось взвешивание исходного сырья. Масса навески материала, засыпаемого в матрицу для получения композитных брикетов (торф – льнокостра, торф – солома рапса, торф – солома зерновых) включала 5 г торфа и 5 г отхода растениеводства. Проведенные экспериментальные исследования по брикетированию показали, что льнокостра, солома рапса, солома зерновых обладают способностью к прессованию для получения топливных брикетов, как в чистом виде, так и в качестве компонента композитного топлива.

Результаты определения основных топливных свойств: влажности, зольности, а также теплоты сгорания позволяют обосновать возможность использования отходов растениеводства (льнокостры, соломы рапса, соломы зерновых) в качестве компонентов композитного топлива. Они обладают достаточно высокой теплотворной способностью, невысокой влажностью (до 25%). При добавлении данных компонентов к торфу теплота сгорания композитного топлива выше, чем у чистого торфа. Увеличение содержания отходов растениеводства: льнокостры, соломы рапса, соломы зерновых в композитном топливе от 10% до 50% приводит к уменьшению удельного расхода топлива при производстве тепловой энергии.

ЛИТЕРАТУРА

1. Государственная программа «Энергосбережение» на 2021–2025 гг. Утв. постановлением Совета Министров Республики Беларусь от 24.02.2021 г. №103.
2. Сельское хозяйство Республики Беларусь. Статистический сборник. – Мн., 2021. – 179 с.
3. СТБ 2042-2010 Торф. Методы определения влаги и зольности.
4. ГОСТ 147-2013 Топливо твердое минеральное. Определение высшей теплоты сгорания и расчет низшей теплоты сгорания. – М., 2019. – 52 с.
5. *Казаченко Г.В.* Горные машины. В 2 ч. Ч. 2. Машины и комплексы для добычи полезных ископаемых / Г.В. Казаченко, В.Я. Прушак, Г.А. Басалай: под общ. ред. В.Я. Прушака. – Минск, Вышэйшая школа, 2018. – С. 197–224.

ПРАКТИЧЕСКИЙ ОПЫТ И ОЦЕНКА ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ НОВЫХ ВИДОВ ВОЗОБНОВЛЯЕМОЙ ЭНЕРГЕТИКИ В РЕСПУБЛИКЕ БЕЛАРУСЬ

THE PRACTICAL EXPERIENCE AND ESTIMATION OF PERSPECTIVE FOR INTRODUCTION OF INNOVATIONAL SOURCES OF RENEWABLE ENERGY IN BELARUS

Х. Броцкий¹, Г. Э. Мазейко¹, О. И. Родькин^{2,3}

H. Brocky¹, G. Mazeyko¹, A. Rodzkin^{2,3}

¹ООО «Ляховичская вербочка», Брестская область, Беларусь
gromisk@interia.pl, gmazeyko@mail.ru,

²Учреждение образования «Международный государственный экологический институт имени А.Д. Сахарова» Белорусского государственного университета, МГЭИ им. А.Д. Сахарова БГУ,
г. Минск, Республика Беларусь
aleh.rodzkin@rambler.ru

³Белорусский государственный университет, БГУ, г. Минск, Республика Беларусь

¹LLC “Lyahovichskaya verbochka”, Brest region, Republic of Belarus

² International Sakharov Environmental Institute Belarusian State University, ISEU BSU,
Minsk, Republic of Belarus

³Belarusian State University, BSU, Minsk, Republic of Belarus

Одним из перспективных направлений для развития и внедрения новых источников возобновляемой энергетики является выращивание быстро растущей энергетической ивы рода *Salix*. Предприятие ООО «Ляховичская вербочка» является первым в стране ориентированным на производство быстрорастущих