

## УДК 621.313

Л.Д. МАЗУРИНА, А.А. ЛАРИНА, уч-ся  
(УО «Национальный детский технопарк»)

Научный руководитель Е.В. ЗЕЛЕНУХО, ст. преподаватель (БНТУ)  
Республика Беларусь, г. Минск

### ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ОТХОДОВ ЛЬНО-ПРОИЗВОДСТВА

Одной из основных технических культур в Беларуси является лен. Доля республики в производстве льна в СНГ составляет около 30%, на европейском континенте – 16% в мировом производстве — почти 9%. По объемам производства льноволокна Беларусь входит в число первых пяти стран мира из двадцати шести его производящих.

В соответствии с изученным источником [1], 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 (см. рис. 1).

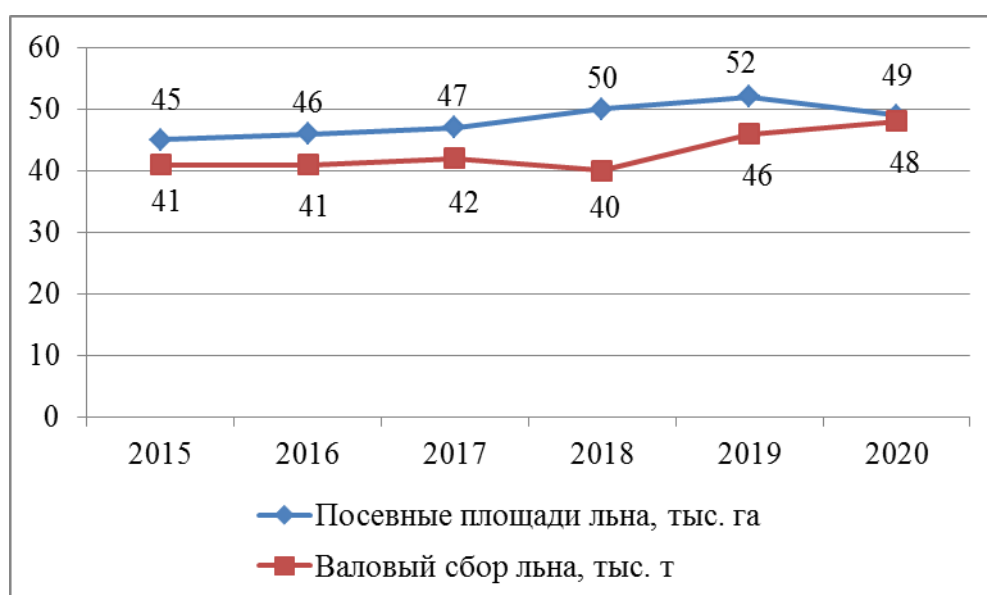


Рисунок 1. Посевные площади и валовой сбор льна в Республике Беларусь

В настоящее время в Республике Беларусь более 30 предприятий осуществляют первичную переработку льнотресты, а также выработку и реализацию льноволокна. Основными операциями технологического процесса получения длинного и короткого волокна являются: сушка (теплофизический процесс, при котором в результате термического воздействия

происходит удаление влаги); формирование слоя; мятье; трепание; трясение.

В ходе механической обработки льняного сырья на машинах происходит образование отходов производства — льняной костры. По внешнему виду она напоминает тонкий игольчатый сухостой длиной до трех сантиметров, более чем наполовину состоящий из чистой целлюлозы. Учитывая, что выход льноволокна в ходе первичной обработки сырья составляет порядка 30%, на долю образовавшихся в ходе технологического процесса отходов льнокостры приходится  $\approx 70\%$ . С учетом данных по валовому сбору льна за 2020 г. (48 тыс. т) образование отходов льнопроизводства, подлежащих вторичной переработке, составило 33,6 тыс. т.

Целью данной работы является исследование возможности использования отходов льнопроизводства в качестве источника энергии. Для её достижения решены следующие задачи: проведены исследования влажности, зольности и теплотворной способности льнокостры, а также экспериментальные исследования по оценке её способности к прессованию.

Определение влажности льнокостры проводилось в соответствии с изученной методикой [2] основным методом. Проба льнокостры была измельчена до 1-2 см, после чего проводилось её высушивание в сушильном шкафу с электрическим обогревом при температуре  $105^{\circ}\text{C}$ - $110^{\circ}\text{C}$ . Далее определялась потеря массовой доли влаги. Среднее значение влажности анализируемых образцов льнокостры составило 9,6%.

Определение зольности проводилось основным методом в соответствии с СТБ [2] в муфельной печи путем озоления навески с льнокострой и прокаливанием зольного остатка в тиглях. Среднее значение зольности сухого топлива составило 2,8%.

Определение теплотворной способности проводилось калориметрическим методом в соответствии с [3]. Общая теплотворная способность льнокостры вычислялась исходя из значений веса образца, теплоемкости калориметрической системы и возрастания температуры воды в сосуде измерительной камеры. Высшая теплота сгорания анализируемой пробы определялась в соответствии со стандартом [3] по следующей формуле (кДж/кг):

$$Q_e^a = Q_b^a - (94 \cdot S^a + \alpha Q_b^a),$$

где 94 — коэффициент, учитывающий теплоту образования серной кислоты из диоксида серы и растворения серной кислоты в воде на 1% серы, перешедшей при сжигании топлива в серную кислоту, кДж/кг;

$S^a$  — массовая доля серы в топливе, %;

$\alpha$  — коэффициент, учитывающий теплоту образования и растворения в воде азотной кислоты (для соломы принимается равным 0,0015).

Низшая теплота сгорания анализируемой пробы определялась по формуле (кДж/кг):

$$Q_n^a = Q_b^a - 24,42(8,94 \cdot H^a + W^a),$$

где 24,42 – теплота парообразования 0,01 кг водяного пара, кДж;  
8,94 – коэффициент пересчета содержания водорода в топливе на во-  
ду;

$H^a$  – массовая доля водорода в аналитической пробе топлива, %;

$W^a$  – массовая доля воды в анализируемой пробе топлива, %.

По результатам проведенных исследований высшая теплота сгорания анализируемых образцов льнокостры составила 18,21 МДж/кг, а низшая теплота сгорания – 16,68 МДж/кг, что является достаточно значительной величиной. На показатель теплотворной способности оказывает влияние влажность льнокостры. Так, при влажности льнокостры, равной 10%, низшая теплота сгорания на 19,1% выше низшей теплоты сгорания при влажности 25% (см. рис. 2).

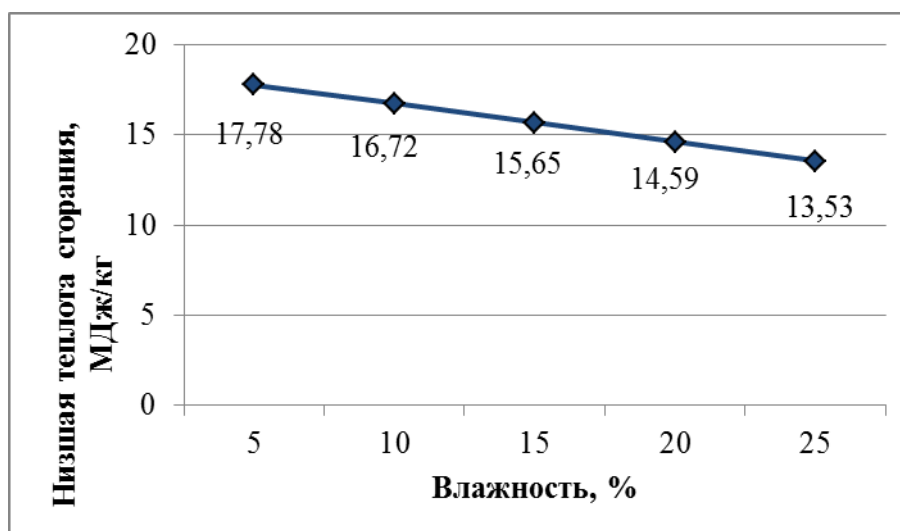


Рисунок 2. Изменение низшей теплоты сгорания в зависимости от влажности льнокостры

Результаты определения влажности, зольности, теплотворной способности льнокостры, а также основные топливные характеристики традиционного биотоплива (древесных пеллет) приведены в таблице 1.

Как видно из таблицы 1, льнокостра имеет топливные характеристики, сопоставимые с характеристиками традиционного биотоплива (пеллет), используемого в промышленных целях.

Таблица 1. Основные топливные характеристики льнокостры и древесных пеллет

Наименование показателя	Льнокостра	Древесные пеллеты
Влажность, %	9,6	7-10
Зольность, %	2,8	не более 2,5
Низшая теплота сгорания, МДж/кг	16,68	17,3

Недостатком использования льнокостры в качестве топлива является её низкая плотность. В связи с этим были проведены экспериментальные исследования по возможности прессования льнокостры. Прессование исходного сырья осуществлялось на прессе ПСУ-125, который по конструкции относится к типу гидравлических и включает в себя два отдельных агрегата: собственно пресс и пульт управления. Механический процесс прессования исходного сырья осуществлялся в специальной пресс-форме, состоящей из цилиндрической матрицы и штемпеля. Процесс прессования производился в матрице, диаметр которой составлял 50 мм, а высота – 100 мм. Предварительно производилось взвешивание исходного сырья. Масса навески льнокостры, засыпаемой в матрицу, составляла 20 г. Далее были определены масса и толщина полученных экспериментальных топливных брикетов, а также расчетным путем определена их плотность. Установлено, что при прессовании плотность увеличивается в 6-7 раз.

Результаты определения основных топливных характеристик льнокостры позволяют обосновать возможность её использования в качестве возобновляемого топлива. Она обладает достаточно высокой теплотворной способностью, невысокой влажностью (до 25%) и относительно невысокой зольностью. Использование отходов льнопроизводства в топливном балансе предприятий позволит снизить себестоимость продукции за счёт снижения затрат на энергоносители.

#### Список литературы:

1. Сельское хозяйство Республики Беларусь. Статистический сборник. – Мн., 2021. – 179 с.
2. СТБ 2042-2010 Торф. Методы определения влаги и зольности.
3. ГОСТ 147-2013 Топливо твердое минеральное. Определение высшей теплоты сгорания и расчет низшей теплоты сгорания. – М., 2019. – 52 с.