

УДК 631.361.026:633.521

В. А. Шаршунов¹, доктор технических наук, профессор,**Н. С. Сентюров**²,**М. В. Цайц**³, кандидат технических наук¹Учреждение образования «Белорусский государственный университет пищевых и химических технологий», пр-т Шмидта, 3, 212027 Могилев, Республика Беларусь, 8 (0222) 64 82 27^{2,3}Учреждение образования «Белорусская государственная орденов Октябрьской Революции и Трудового Красного Знамени сельскохозяйственная академия», ул. Мичурина, 5, 213410 Горки, Республика Беларусь, +375 (25) 906 37 38, baa_bgd@mail.ru

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ВОРОХА ЛЬНОКОСТРЫ КАК ОБЪЕКТА ПЕРЕРАБОТКИ ПРЕССОВАНИЕМ

В результате переработки сельскохозяйственных культур остается огромное количество растительных отходов, которые пригодны для вторичного использования. Одной из подотраслей сельского хозяйства Республики Беларусь, обладающей потенциалом роста из-за большого количества получаемой льняной костры, является льноводство. В результате переработки тонны льняной тресты получают от 0,5...0,6 льняной костры, пригодной для приготовления пеллет и брикетов.

Производство пеллет предполагает измельчение и прессование вороха льнокостры, при этом наличие в ней льняного волокна выводит из строя измельчающие устройства, а механические примеси увеличивают скорость изнашивания и приводят к отказам рабочих органов прессования из-за абразивного износа. Повысить эффективность работы механизмов прессования возможно путем предварительной обработки (очистки) вороха льняной костры, что требует более полного изучения фракционного состава вороха льнокостры и размерно-массовых характеристик его компонентов, а также физико-механических свойств компонентов вороха.

В статье приводятся результаты исследований содержания массовой доли компонентов вороха льнокостры. Установлено, что в ней содержатся целые и дробленые семена льна и сорных растений, пучки пакли, разрушенные семенные коробочки, механические примеси в виде песка и частиц металла, льняная костра, остатки стеблей льна и сорных растений. Получены результаты размерно-массовых характеристик компонентов вороха, а также фрикционные свойства и насыпная плотность.

Ключевые слова: лен; ворох льнокостры; компоненты; льняное волокно; механические примеси; разрушенные семенные коробочки; семена льна.

Табл. 1. Библиогр.: 13 назв.

V. A. Sharshunov¹, DSc in Technical Sciences, Professor,**N. S. Sentyurov**²,**M. V. Tsaits**³, PhD in Technical Sciences¹Institution of Education "Belarusian State University of Food and Chemical Technologies", 3 Schmidt Ave., 212027 Mogilev, the Republic of Belarus, 8 (0222) 64 82 27^{2,3}Institution of Education "Belarusian State of the Order of October Revolution and the Red Banner of Labor Agricultural Academy" 5 Michurina Str., 213410 Gorki, the Republic of Belarus, +375 (25) 906 37 38, baa_bgd@mail.ru

TECHNOLOGICAL PROPERTIES OF FLAX BAKE HEAP AS AN OBJECT OF PRESSING PROCESSING

The processing of agricultural crops leaves behind a huge amount of plant waste suitable for recycling. Flax farming is a subsector of Belarusian agriculture with growth potential due to the large quantities of flax shives produced. Processing a ton of flax straw yields 0.5 to 0.6 tons of flax shives, suitable for pellets and briquettes.

Pellet production involves crushing and pressing flax shives. The presence of flax fiber in the flax shives can cause the crushing equipment to malfunction, while mechanical impurities increase wear rates and lead to abrasive failures of the pressing mechanisms. Improving the efficiency of pressing mechanisms is possible through pre-treatment (cleaning) of the flax shives, which requires a more comprehensive study of the flax shives fractional composition, the size and mass characteristics of their components, and the physical and mechanical properties of the shives. This article presents the results of a study of the mass fraction of flax husk components. It has been established that the bale

contains whole and crushed flax and weed seeds, tow bundles, broken seedpods, and mechanical impurities such as sand and metal particles, flax shives, and flax stem and weed residues. The size and mass characteristics of the husk components, as well as their frictional properties and bulk density have been determined.

Key words: flax; flax husk; components; flax fiber; mechanical impurities; broken seedpods; flax seeds.

Table 1. Ref.: 13 titles.

Введение. Сельское хозяйство является одной из самых проблемных отраслей в части загрязнения окружающей среды. В результате переработки сельскохозяйственных культур остается огромное количество растительных отходов, большая часть которого — ценное сырье, пригодное для вторичного использования. Современные технологии переработки сельскохозяйственных отходов могут обеспечить большую выгоду производителям, соответственно, повысить конкурентоспособность.

Одной из подотраслей сельского хозяйства Республики Беларусь, обладающей потенциалом роста из-за большого количества получаемой льняной костры, является льноводство. Ежегодно в Беларуси убирается порядка 50 тыс. га посевов льна, а валовый сбор льнотресты достигает 60 тыс. т [1]. В результате переработки тонны льняной тресты получают от 0,5...0,6 т льняной костры.

Льняная костра применяется как экологичный утеплитель в строительстве и звукоизоляции, как мульча и удобрение для улучшения почвы в садоводстве, как подстилка для животных, а также как сырье для производства топливных пеллет и брикетов, компонентов для композитных материалов. Производимые из костры топливные брикеты и пеллеты являются эффективным твердым топливом для котлов и печей [2]. Около 30...40 % образующейся костры льна используется для получения тепла в котельных [3]. Однако ее значительная часть остается невостребованной, скапливается на территориях льнозаводов и является источником пожароопасности и экологического загрязнения. Одним из сдерживающих факторов роста производства топливных гранул и брикетов из льняной костры является эксплуатационная надежность используемого оборудования и его дороговизна. Прежде всего это обусловлено наличием в ворохе льняной костры механических примесей, приводящих к износу органов прессования — самых дорогостоящих узлов [4].

Одним из путей повышения эффективности эксплуатационных показателей оборудования для производства брикетов и пеллет из льняной костры является ее предварительная очистка от механических примесей. При этом следует учитывать фракционный состав вороха льнокостры и размерно-массовые характеристики его компонентов, а также физико-механические свойства компонентов вороха.

Изучением теплоизоляционных свойств льняной костры занималась О. Е. Смирнова [5]. Ею изучено влияние фракционного состава льняной костры на свойства прессованного материала. Установлено повышенное содержание лигнина в костре льна 44...46 %. Изучению свойств льняной костры как наполнителя прессованных древесных плит посвящены работы Д. А. Кожевникова [6] и С. А. Угрюмова [7]. В работе М. Содомона [8] льняная костра описывается как измельченные и обработанные стебли льна-долгунца длиной 1...10 мм и толщиной 0,3...1,5 мм, имеющие заостренную форму. Отмечается, что этот материал после тщательной сушки абсолютно лишен влаги. Вместе с тем свойства вороха льнокостры как объекта переработки прессованием остаются неизученными.

Материалы и методы исследования. Исследуемые образцы льняной костры отбирались из отвала на открытой площадке ОАО «Горкилен», формируемой линией первичной переработки льна МТА-2Л, а также на специально оборудованном хранилище ОАО «Ореховский льнозавод» из массы вороха льнокостры, формируемой линией первичной переработки льна Van Dommele. Для сокращения объема экспериментальной работы и получения достоверных результатов исследований необходимый объем выборки n_b определялся по зависимости [9]

$$n_b = \frac{t_c^2 \sigma^2}{\Delta^2},$$

где t_c — критерий Стьюдента. В расчетах принимался $t_c = 2,447$;

σ — среднее квадратическое отклонение, %, $\sigma = 0,5$ [10];

Δ — возможная ошибка средней величины, %.

Для определения содержания минеральных примесей в ворохе льнокостры образцы проб были переданы в химико-экологическую лабораторию БГСХА, где обработка данных для определения минеральных примесей проводилась золообразованием [4].

При определении размерно-массовых характеристик вороха льнокостры производилось его разделение на компоненты: целые и дробленые семена льна и сорных растений, пучки пакли, разрушенные семенные коробочки, минеральные примеси, льняная костра, остатки стеблей льна и сорных растений.

Размерные характеристики льняной костры, разрушенных семенных коробочек, целых и дробленых семян льна и сорных растений, остатков стеблей льна и сорных растений определялись с помощью лупы измерительной ЛИ-3-10×, соответствующей требованиям ТУ РБ-14541426.020-99 с точностью до 0,1 мм, и при помощи электронного штангенциркуля с точностью до 0,01 мм. Размерные характеристики минеральных примесей определялись методом микроскопического анализа по известной методике. Размер частиц минеральных примесей (площадь проекции) и их количество определялись в программе PhotoM 1.21 [11].

Частицы минеральных примесей обычно имеют неправильную форму, свойственную обломкам твердых тел. Некоторые частицы имеют пластинчатую или волокнистую форму. Поэтому на этапе цифровой обработки фотографий с помощью компьютерной программы сделаны некоторые допущения: так как размер частицы выражается диаметром шарообразной частицы, а на практике встречаются в основном частицы неправильной геометрической формы, то для выражения размера частицы часто пользуются понятием «эквивалентный диаметр».

Расчет эквивалентного диаметра производился на основе формулы

$$d_{\text{эKB}} = 2\sqrt{\frac{S}{\pi}},$$

где S — площадь проекции, мкм^2 .

При исследовании фрикционных свойств вороха льнокостры определялись коэффициенты внутреннего и статического трения с учетом влияния на них влажности материала.

Коэффициент внутреннего трения определялся по зависимости

$$f_b = \text{tg}\varphi_0 = \frac{h_k}{r_d},$$

где φ_0 — угол внутреннего трения материала, град;

h_k — высота конуса, м;

r_d — радиус диска, м.

Для определения статического трения на пластину укладывался слой вороха льнокостры, затем пластину плавно поворачивали с помощью винтовой пары, изменяя при этом угол наклона к горизонту до тех пор, пока ворох льнокостры начнет движение. Угол наклона металлической пластины, соответствующий началу движения вороха льнокостры, фиксировался с помощью угломера.

Насыпная плотность вороха льнокостры в рыхлом состоянии определялась по зависимости

$$\rho_{в.л} = \frac{m_{e2} - m_{e1}}{V_e},$$

где m_{e2} — масса мерной емкости с ворохом льнокостры, кг;

m_{e1} — масса мерной емкости, кг;

V_e — объем мерной емкости, м³.

Результаты исследования и их обсуждение. По результатам проведенных исследований установлено, что наибольшее количество минеральных примесей содержится в нижней части отвала и составляет 58,1...221,8 г / кг, так как тяжелые минеральные примеси оседают. Среднее значение массовой доли минеральных примесей в ворохе льнокостры составляет 43,2...129,8 г / кг. В ходе исследований также было зафиксировано присутствие мелких металлических частиц, являющихся продуктом износа рабочих органов мяльно-трепального механизма линии первичной переработки льна.

Основная масса целых и дробленых семян льна и сорных растений имеет усредненные размеры частиц: по длине — 2,1...3,26 мм, по ширине — 0,71...1,16 мм, толщине — 0,62...0,72 мм [12].

Основная масса льняной костры имеет усредненные размеры частиц: по длине — 9,08...20,92 мм, по ширине — 0,96...1,32 мм, толщине — 0,33...0,42 мм.

Более 85 % массы разрушенных коробочек льна имеет усредненные размеры частиц: по длине — 3,24 мм, по ширине — 1,33 мм, толщине — 1,68 мм.

Основная масса минеральных примесей имеет усредненные размеры частиц: по эквивалентному диаметру — 176,1...593,9 мкм. Также в результате исследования было установлено, что подавляющее число частиц минеральных примесей (около 85 %) состоит из земли, песка, камушков, а остальные частицы — из железа, являющиеся продуктами износа рабочих органов линии переработки льна [12].

Преобладающая масса остатков стеблей льна и сорных растений имеет усредненные размеры частиц: по длине — 16,14...34,70 мм, диаметру — 1,28...1,35 мм.

Существенная масса пучков пакли имеет усредненные размеры частиц: по массе — более 1,92 г.

По результатам проведенных исследований были получены процентные содержания компонентов, входящих в состав вороха льнокостры (таблица 1).

В результате изучения фрикционных свойств вороха льнокостры установлено, что изменение влажности от 6 до 40 % не оказывает существенного влияния на изменение значения коэффициентов внутреннего и статического трения. Коэффициент внутреннего трения возрастает на 11 % (с 0,94 до 1,04), коэффициент статического трения: по поверхности полимер — на 15 % (с 0,52 до 0,60), по металлической поверхности — на 11 % (с 0,71 до 0,79). Значительное влияние влажность оказывает на коэффициент динамического трения. Коэффициент динамического трения возрастает: по поверхности полимер — на 65 % (с 0,26 до 0,39), по металлической поверхности — на 62 % (с 0,29 до 0,47) [13].

Полученная в результате исследований насыпная плотность вороха льнокостры имеет среднее значение: $\rho_{в.л} = 124,3$ кг / м³.

Т а б л и ц а 1. — Структура вороха льнокостры

Компоненты вороха льнокостры	Содержание по массе, %
Целые и дробленые семена льна и сорных растений	1,4...2,9
Пучки пакли	4,0...19,6
Разрушенные коробочки льна	2,3...5,4
Минеральные примеси	4,2...16,0
Льняная костра	68,0...84,0
Остатки стеблей льна и сорных растений	3,1...11,0

Заключение. В результате исследований определена многокомпонентность вороха льняной костры. Массовая доля компонентов вороха льнянокостры варьируется в следующих диапазонах: целые и дробленые семена льна и сорных растений — 1,4...2,9 %; пучки пакли — 4,0...19,6 %; разрушенные коробочки льна — 2,3...5,4 %; механические примеси с преобладающим содержанием минеральных включений — 4,2...16,0 %; льняная костра — 68,0...84,0 %; остатки стеблей льна и сорных растений — 3,1...11,0 %.

Основная масса (около 85 %) минеральных примесей имеет усредненные размеры частиц: по эквивалентному диаметру — 176,1...593,9 мкм.

Влажность вороха льняной костры, размещенной на открытых площадках, находится в диапазоне 6...40 %, а складываемой в специально оборудованных навесах — не превышает 8 %.

Установленная при влажности вороха 8...12 % насыпная плотность составила 124,3 кг/м³, коэффициент внутреннего трения — 0,94...0,97, коэффициент статического трения — 0,52...0,55.

Список цитируемых источников

1. Шаршунов, В. А. Анализ обеспеченности льносеющих хозяйств Республики Беларусь техническими средствами для уборки льна-долгунца / В. А. Шаршунов, В. А. Кожановский, М. В. Цайц // Вестник Белорусской государственной сельскохозяйственной академии. — 2022. — № 4. — С. 150—156.
2. Сентюров, Н. С. Стадии производства пеллет из растительных остатков / Н. С. Сентюров // Инновационные решения в технологиях и механизации сельскохозяйственного производства : сб. науч. тр. — Горки : Белорус. гос. с.-х. акад., 2024. — С. 144—147.
3. Круглень, В. Е. Подготовка льнянокостры для производства топливных гранул / В. Е. Круглень, А. С. Алексеенко, Н. С. Сентюров // Вестник Брянской государственной сельскохозяйственной академии. — 2014. — № 3. — С. 49—51.
4. Шаршунов, В. А. Определение засоренности льнянокостры минеральными примесями и способы их выделения / В. А. Шаршунов, В. Е. Круглень, Н. С. Сентюров // Вестник Белорусской государственной сельскохозяйственной академии. — 2013. — № 2. — С. 120—124.
5. Смирнова, О. Е. Теплоизоляционные материалы на основе костры льна : дис. ... канд. техн. наук : 05.23.05 / Смирнова Ольга Евгеньевна. — Новосибирск, 2007. — 137 л.
6. Кожевников, Д. А. Формирование древесных материалов на основе измельченной древесины и костры льна : дис. ... канд. техн. наук : 05.21.05 / Кожевников Дмитрий Александрович. — СПб., 2013. — 156 л.
7. Угрюмов, С. А. Совершенствование технологии производства композиционных материалов на основе древесных наполнителей и костры льна : дис. ... д-ра техн. наук : 05.21.05 / Угрюмов Сергей Алексеевич. — М., 2009. — 288 л.
8. Содомон, М. Биостойкий теплоизоляционный материал на основе модифицированного недревесного растительного сырья : дис. ... канд. техн. наук : 2.1.5 / Содомон Марк. — М., 2024. — 164 л.
9. Бочаров, П. П. Теория вероятностей. Математическая статистика : учеб. пособие / П. П. Бочаров, А. В. Печенкин. — М. : Гардарики, 1998. — 328 с.
10. Мельников, С. В. Планирование эксперимента в исследованиях сельскохозяйственных процессов / С. В. Мельников, В. Р. Алешкин, П. М. Рошин. — Л. : Колос, 1980. — 168 с.
11. Гаврилова, Н. Н. Микроскопические методы определения размеров частиц дисперсных материалов : учеб. пособие / Н. Н. Гаврилова, В. В. Назаров, О. В. Яровая. — М. : РХТУ им. Д. И. Менделеева, 2012. — 52 с.
12. Шаршунов, В. А. Определение размерных характеристик компонентов вороха льнянокостры / В. А. Шаршунов, Н. С. Сентюров, М. В. Цайц // Вестник Белорусской государственной сельскохозяйственной академии. — 2020. — № 3. — С. 169—175.
13. Сентюров, Н. С. Зависимость коэффициентов трения вороха льнянокостры от влажности / Н. С. Сентюров // Инновационные решения в технологиях и механизации сельскохозяйственного производства : сб. науч. тр. / Белорус. гос. с.-х. акад. — Горки : Белорус. гос. с.-х. акад., 2021. — Вып. 6. — С. 151—154.

Поступила в редакцию 20.10.2025.