

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ СКОРОСТИ ВИТАНИЯ КОМПОНЕНТОВ ВОРОХА ЛЬНОКОСТРЫ

В. А. ШАРШУНОВ, Н. С. СЕНТЮРОВ, М. В. ЦАЙЦ

УО «Белорусская государственная сельскохозяйственная академия»,  
г. Горки, Республика Беларусь, 213407, e-mail: nikolay\_senturov@rambler.ru.

(Поступила в редакцию 04.03.2021)

В настоящее время в Беларуси около 50–60 % образующегося вороха льнокостры используется для отопления льнозаводов, а также на хозяйственные нужды населения. И все-таки значительная часть ее остается невостребованной, скапливается на территориях предприятий и является источником пожароопасности и экологического загрязнения. При установке специального оборудования такие отходы могут использоваться для производства пеллет, которое пользуется растущим спросом у иностранных потребителей и может найти широкое применение в Республике Беларусь. Производство пеллет предполагает измельчение и прессование вороха льнокостры, при этом наличие в ней льняного волокна выводит из строя измельчающие устройства, а минеральные примеси увеличивают скорость изнашивания и приводят к отказам рабочих органов прессования из-за абразивного износа. Для снижения негативного влияния на процесс прессования необходимо исключить или снизить до минимума содержание минеральных примесей в ворохе льнокостры. Одним из способов выделения является воздушный способ.

В статье определена скорость витания компонентов вороха льнокостры, установлено, что компоненты вороха льнокостры имеют различную скорость витания: целые и дробленые семена льна и сорных растений – от 1,72 до 5,06 м/с; пучки пакли – от 0,5 до 2,28 м/с; разрушенные семенные коробочки – от 0,11 до 1,28 м/с; минеральные примеси – от 0,11 до 2,17 м/с; льняная костра – от 0,17 до 4,50 м/с; остатки стеблей льна и сорных растений – от 3,06 до 5,5 м/с. Полное выделение воздушным потоком пучков пакли и минеральных примесей приведет к потерям: льняной костры – до 53 %; целых и дробленых семян льна и сорных растений – до 2 %; разрушенных коробочек льна – 100 %.

Установлено, что применение воздушного потока в качестве отдельного способа для выделения минеральных примесей и пучков пакли нецелесообразно из-за неприемлемых потерь компонентов вороха льнокостры. Такой способ можно использовать в сочетании с другими способами выделения.

**Ключевые слова:** лен-долгунец, скорость витания, ворох льнокостры, компоненты вороха льнокостры, минеральные примеси.

At present, in Belarus, about 50–60 % of the formed heap of flax is used for heating flax factories, as well as for the household needs of the population. Nevertheless, a significant part of it remains unclaimed, accumulates on the territories of enterprises and is a source of fire hazard and environmental pollution. When installing special equipment, such waste can be used for the production of pellets, which is in growing demand among foreign consumers and can be widely used in the Republic of Belarus. The production of pellets involves grinding and pressing a heap of flax, while the presence of flax fiber in it disables the grinding devices, and mineral impurities increase the wear rate and lead to failures of the working bodies of pressing devices due to abrasive wear. To reduce the negative impact on the pressing process, it is necessary to exclude or reduce to a minimum the content of mineral impurities in the flax heap. One of the isolation methods is the air method.

The article defines the speed of soaring of flax heap components, it is established that the components of the heap of flax have different speed of soaring: whole and crushed seeds of flax and weeds – from 1.72 to 5.06 m / s; tow bundles – from 0.5 to 2.28 m / s; destroyed seed pods – from 0.11 to 1.28 m / s; mineral impurities – from 0.11 to 2.17 m / s; flax straw – from 0.17 to 4.50 m / s; remnants of flax and weed stems – from 3.06 to 5.5 m / s. Complete release of tow bundles and mineral impurities by the air flow will lead to losses: flax straw – up to 53 %; whole and crushed flax seeds and weeds – up to 2 %; destroyed boxes of flax – 100 %.

It was found that the use of an air flow as a separate method for separating mineral impurities and tow bundles is impractical due to unacceptable losses of flax heap components. This method can be used in combination with other selection methods.

**Key words:** fiber flax, soaring speed, flax heap, components of the flax heap, mineral impurities.

**Введение**

Современные льнозаводы Республики Беларусь – это высокотехнологичные предприятия, на которых постоянно ведутся работы по совершенствованию конструкций оборудования, повышению уровня их автоматизации и производительности. Однако по мере наращивания объемов производства наиболее ценного продукта первичной переработки льна – длинного волокна, увеличивается и количество отходов производства – вороха костры льна [1].

Ворох льнокостры получается при первичной переработке льна-долгунца, имеет большую привлекательность для производства пеллет, поскольку имеет в своем составе большое количество лигнина (21...29 %). Лигнин выступает связующим элементом в процессе прессования пеллет и оказывает существенное влияние на их качество. Вместе с тем перспективы использования вороха льнокостры в качестве материала для производства пеллет ограничивается рядом факторов: содержание в нем мелкого волокна, минеральных и других примесей. Волокно затрудняет процесс измельчения вороха на этапе подготовки к прессованию, а минеральные и другие примеси увеличивают скорость изнашивания и приводят к отказам рабочих органов прессования из-за абразивного износа.

Увеличить надежность производственного процесса и срок эксплуатации рабочих органов прессования при производстве пеллет из вороха льнокостры можно, исключив или снизив до минимума содержание минеральных примесей в ней.

При выделении из вороха льнокостры минеральных примесей, таких как песок, почва и др., применяют различные способы очистки: воздушный, гидравлический, вибрационный, инерционный, комбинированный и др. [2].

Для правильного определения способов выделения минеральных примесей из вороха льнокостры необходимо определить физико-механические свойства его компонентов.

В общей структуре вороха льнокостры распределение компонентов варьируется в пределах: льняная костра – 68...84 %, целые и дробленые семена льна и сорных растений – 1,4...2,9 %, пучки пакли – 4...19,6 %, разрушенные коробочки льна – 2,3...5,4 %, минеральные примеси – 3,2...16 %, остатки стеблей льна и сорных растений – 3,1...11 % [3].

Основная масса льняной костры имеет средние размеры частиц по длине 9,08...20,92 мм, по ширине 1,1...1,5 мм и толщине 0,33...0,42 мм, основная масса целых и дробленых семян льна и сорных растений имеет средние размеры частиц по длине 2,1...3,26 мм, по ширине 0,71...1,16 мм и толщине 0,62...0,72 мм, основная масса разрушенных коробочек льна имеет средние размеры частиц по длине 3,24 мм, по ширине 1,68 мм и толщине 1,33 мм, основная масса остатков стеблей льна и сорных растений имеет средние размеры частиц по длине 16,14...34,7 мм, по диаметру 1,28...1,35 мм, наибольший удельный вес пучков пакли имеет средние размеры пучков 1,92...5,95 г, основная масса минеральных примесей имеет средние размеры частиц по эквивалентному диаметру 176,1...593,9 мкм [3].

Одним из показателей аэродинамических свойств является скорость витания. Скорость воздушного потока, при котором частица находится во взвешенном состоянии, называется скоростью витания. Скорость витания различных частиц может колебаться в некоторых пределах из-за непостоянства скорости воздушного потока и изменения миделева сечения. Для разделения компонентов вороха льнокостры скорость воздушного потока нужно выбирать больше скорости витания для частиц удаляемой фракции.

Скорость витания частиц для каждой  $i$ -й фракции компонента вороха льнокостры находили в пределах от значения скорости воздушного потока  $V_{i-1}$  при выделении предыдущей ( $i-1$ ) фракции до значения скорости воздушного потока  $V_i$ . Средняя скорость витания частиц выделенной фракции определялась:

$$V_{\text{в.ср}} = (V_{i-1} + V_i) / 2, \quad (1)$$

где  $V_{i-1}$  – скорость воздушного потока при выделении предыдущей фракции, м/с;  $V_i$  – скорость воздушного потока выделяемой фракции, м/с.

Целью исследования является определение скорости витания компонентов вороха льнокостры.

#### Основная часть

Определение скорости витания компонентов вороха льнокостры можно произвести на лабораторной установке фирмы «Петкус», которая представлена на рис. 1.

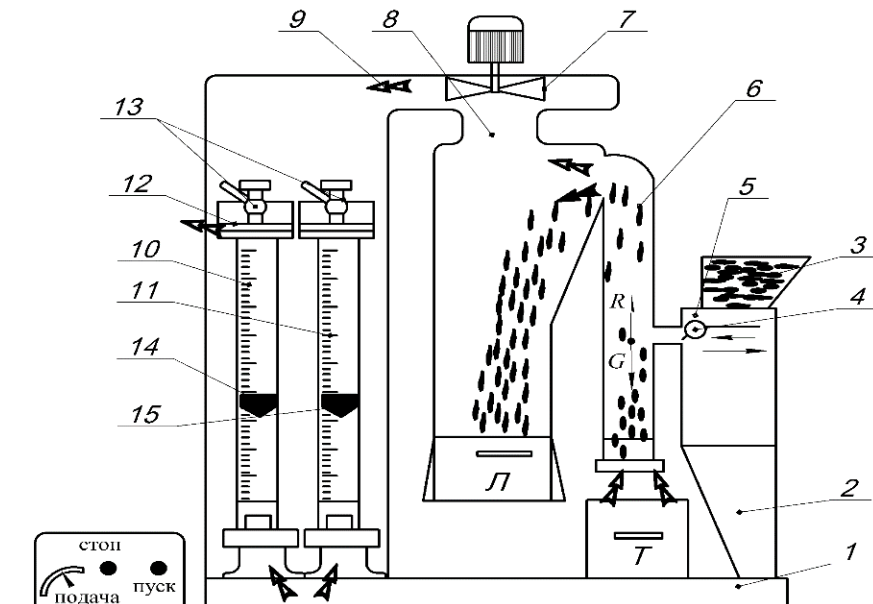


Рис. 1. Лабораторная установка для исследования аэродинамических свойств:

1 – станция, 2 – кронштейн; 3 – бункер; 4 – дозирующая заслонка; 5 – дно бункера; 6 – вертикальный канал; 7 – вентилятор; 8 – осадочная камера; 9 – горизонтальный канал; 10, 11 – расходомеры; 12, 13 – регулировочные заслонки; 14, 15 – металлические поплавки указатели

Установка имеет станину 1, на которой установлен с помощью кронштейна 2 бункер 3. Выходное отверстие бункера 3 закрывается дозирующей заслонкой 4, а дно бункера 5 приводится в колебательное движение с помощью электровибратора. При работе установки компоненты вороха льнокостры из бункера 3 вводится в вертикальный канал 6, через который вентилятор 7 всасывает воздух. На пути движущегося воздушного потока имеется осадочная камера 8, в которой за счет падения скорости воздуха увлекаемая им легкая фракция компонентов вороха льнокостры попадает в сборник легкой фракции «Л», а тяжелая фракция компонентов вороха льнокостры, у которых сила тяжести больше силы воздушного потока, по вертикальному каналу 6 выпадают в сборник тяжелой фракции «Т». После прохождения лопастей вентилятора, воздушный поток через горизонтальный канал 9 и расходомеры 10, 11 выходит наружу в отверстия, закрываемые регулируемыми заслонками 12, 13. Для грубого регулирования расхода воздуха используется расходомер 10, для более точного – расходомер 11.

Внутри расходомеров 10, 11 установлены металлические поплавки-указатели 14, 15. В зависимости от степени открытия регулировочных заслонок 12, 13 изменяется количество воздуха, проходящего через кольцевые щели между внутренними стенками расходомеров и металлическими поплавками-указателями 14, 15. При этом металлические поплавки-указатели 14, 15 занимают определенное положение по высоте, которое соответствует расходу воздуха ( $\text{м}^3/\text{ч}$ ), указанному на шкале расходомера [4, 5].

Для определения скорости витания вороха льнокостры были взяты пробы на льнозаводах ОАО «Горкилен» и ОАО «Ореховский льнозавод». Площадь отвала вороха льнокостры разбивалась на 10 равных секторов. Затем из этих 10-секторов случайным образом выбиралось пять [6, 7, 8], из которых отбирались навески вороха льнокостры массой не менее пяти килограмм, на глубину всей насыпи. Такой объем вороха соответствует требованиям обеспечения достаточной для сельскохозяйственной механики точности экспериментов. После отбора образцов производилась их 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. Полученные таким образом компоненты взвешивались по отдельности на электронных весах ВК-600 с точностью 0,01 г (табл. 1).

Таблица 1. Результаты разделения вороха льнокостры на компоненты по массе [2]

Наименование компонента	Масса, г	Процентное содержание, %
Целые и дробленые семена льна и сорных растений	107,5	2,15
Пучки пакли	140,0	2,80
Разрушенные семенные коробочки	192,5	3,85
Минеральные примеси	355,0	7,10
Льняная костра	3800,0	76,00
Остатки стеблей льна и сорных растений	405,0	8,10
Итого:	5000	100

Исследования проводились на кафедре сельскохозяйственных машин УО БГСХА следующим образом. Навеску компонента вороха льнокостры засыпали в бункер исследуемого материала 3. Затем включали в работу вентилятор 7 и после стабилизации режима его работы регулирующими заслонками 12 и 13 устанавливали необходимый расход воздуха, соответствующий началу разделения компонента на легкие и тяжелые фракции. Далее с помощью дозирующей заслонки 4 осуществляли подачу навески компонента вороха льнокостры в вертикальный канал 6. Частицы, для которых сила тяжести меньше силы воздушного потока, перемещались вместе с воздушным потоком в осадочную камеру 8 и попадали в сборник легкой фракции «Л», а частицы компонента, у которых сила тяжести больше силы воздушного потока, оседали в сборник тяжелой фракции «Т».

После прохождения всей навески через воздушный канал выделенную в сборник легкой фракции «Л» фракцию взвешивали и откладывали в сторону. А фракцию из сборника тяжелой фракции «Т» пропускали снова через установку, увеличив предварительно расход воздуха на  $1 \text{ м}^3/\text{ч}$ . Опыты проводили до тех пор, пока вся навеска не выделится в сборник легкой фракции «Л». При этом каждый раз увеличивали расход воздуха на  $1 \text{ м}^3/\text{ч}$ . Аналогично проводили исследование для каждого компонента вороха льнокостры.

Результаты проведенных исследований представлены на рис. 2.

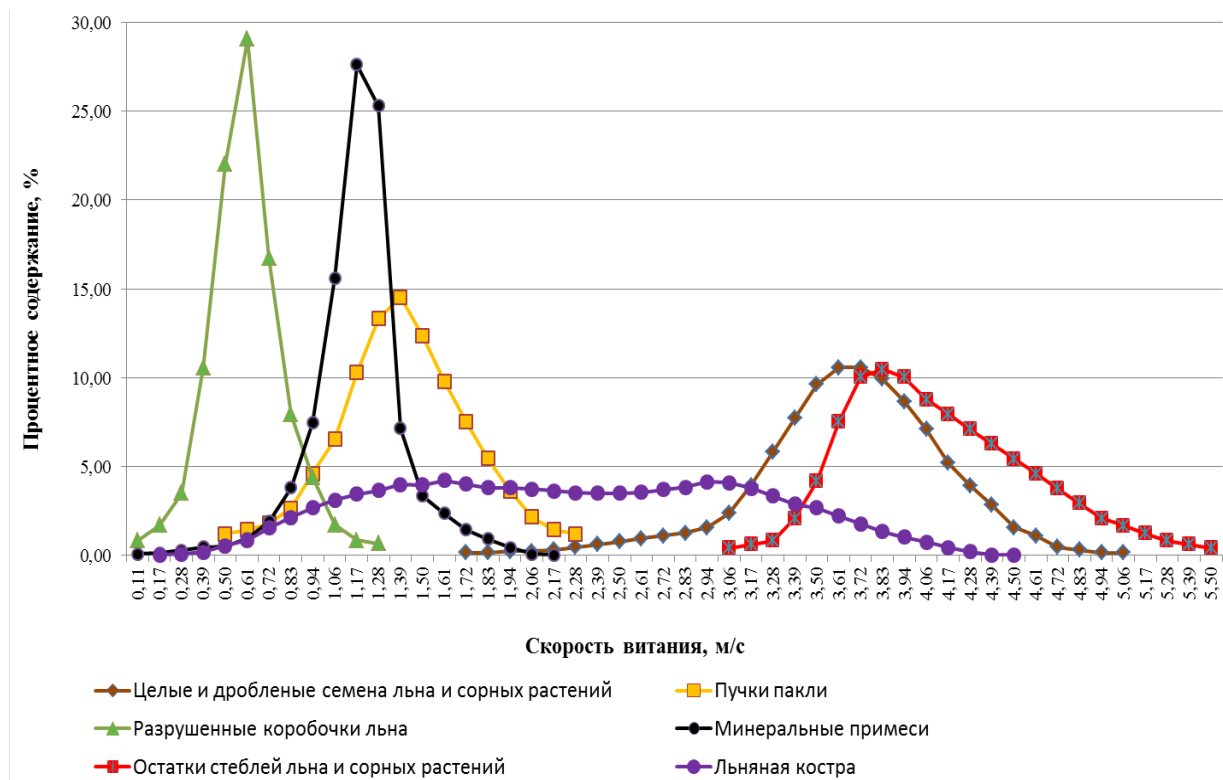


Рис. 2. Распределение компонентов вороха льнокостры по скорости витания

Анализ представленных данных показывает, что компоненты вороха льнокостры имеют различную скорость витания: целые и дробленые семена льна и сорных растений – от 1,72 до 5,06 м/с; пучки пакли – от 0,5 до 2,28 м/с; разрушенные семенные коробочки – от 0,11 до 1,28 м/с; минеральные примеси – от 0,11 до 2,17 м/с; льняная костра – от 0,17 до 4,50 м/с; остатки стеблей льна и сорных растений – от 3,06 до 5,5 м/с.

Следует отметить, что скорость витания разрушенных коробочек льна имеет эксцесс распределения в диапазоне скорости воздушного потока от 0,4 до 0,8 м/с, что в первую очередь связано с низким разбросом размеров коробочек.

Скорость витания минеральных примесей также имеет эксцесс распределения в диапазоне скорости воздушного потока от 0,95 до 1,38 м/с, и имеет незначительную левостороннюю асимметрию.

Пучки пакли имеют эксцесс распределения скорости витания в диапазоне от 1,06 до 1,7 м/с и имеет правостороннюю асимметрию. Асимметрия связана с присутствием в пучках пакли неотделенных остатков стеблей и костры льна.

Целые и дробленые семена льна и сорных растений имеют эксцесс распределения скорости витания в диапазоне от 3,28 до 4,17 м/с и имеет правостороннюю асимметрию. Асимметрия вызвана в первую очередь формой семян, которые при дроблении принимают форму близкую к сфере.

Скорость витания остатков стеблей льна и сорных растений имеет эксцесс распределения в диапазоне скорости воздушного потока от 3,5 до 4,5 м/с и имеет левостороннюю асимметрию. Асимметрия вызвана в первую очередь разной по плотности стеблей льна и стеблей сорных растений, а также различным их процентным содержанием от общей массы фракции компонента.

Наиболее разноразмерным и разноразмерным компонентом вороха льнокостры является сама костра, и поэтому скорость ее витания имеет отрицательный эксцесс распределения с двумя вершинами кривой. При этом вогнутость кривой является не существенной и диапазон эксцесса можно определить в пределах от 0,85 до 3,6 м/с.

### Заключение

Анализируя возможность выделения из вороха льнокостры воздушным потоком пучков пакли и минеральных примесей, следует отметить, что полное их выделение приведет к потерям: льняной костры – до 53 %; целых и дробленых семян льна и сорных растений – до 2 %; разрушенных коробочек льна – 100 %. На основании изложенного можно сделать вывод о том, что применение воздушного потока в качестве отдельного способа для выделения минеральных примесей и пучков пакли нецелесообразно из-за неприемлемых потерь компонентов вороха льнокостры. Однако нельзя исключить

применение воздушного потока полностью, его можно использовать в сочетании с другими способами выделения.

#### *ЛИТЕРАТУРА*

1. Стош, Е. В. Эколого-экономическая эффективность организации производства топливных брикетов из льнокостры / Е. В. Стош, И. А. Басалай // Сборник трудов Международной научно-технической конференции «Промышленная экология» / под общ. ред. Басалай И. А. – БНТУ, Минск, 2015. – С. 385–391.
2. Определение засоренности льнокостры минеральными примесями и способы их выделения / В. А. Шаршунов [и др.] // Вестник БГСХА. – 2013. – № 2. – С. 120–124.
3. Шаршунов, В. А. Определение размерных характеристик компонентов вороха льнокостры / В. А. Шаршунов, Н. С. Сентюров, М. В. Цайц. – Вестник БГСХА. – 2020. – №3. – С. 169–175.
4. Сельскохозяйственные машины: Методические указания по выполнению лабораторных работ / А. В. Клачков [и др.]. – Горки: БГСХА, 2017. – 38 с.
5. Ермольев, Ю. И. Основы научных исследований в сельскохозяйственном машиностроении: учеб. пособие / Ю. И. Ермольев. – Ростов-на-Дону: Издательский центр ДГТУ, 2003. – 243 с.
6. Веденяпин, Г. В. Общая методика экспериментальных исследований и обработки опытных данных. М.: Колос, 1967. – 159 с.
7. Надежность в технике. Термины и определения: ГОСТ 27.002-2015. – Введ. 01.03.2017. – Москва: Изд-во стандартиформ, 2016. – 28 с.
8. Техника сельскохозяйственная. Комплексная система обеспечения надежности: СТБ 1917-2008. – Введ. 01.06.09. – Минск: БелГиСС, 2009. – 120 с.