

ОРИГИНАЛЬНАЯ СТАТЬЯ

УДК 633.521:631.358

<https://doi.org/10.26897/2687-1149-2026-4-42-50>

Исследование структурных параметров стеблевого слоя при впусивании лент льна: новые аспекты

А.Н. Зинцов¹, М.М. Ковалев², Г.А. Перов³, В.И. Шинкарев⁴^{1,4} Костромская государственная сельскохозяйственная академия; п. Караваево, Россия^{2,3} Федеральный научный центр лубяных культур; г. Тверь, Россия¹ zintsov_a@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0003-3443-2015>² m.kovalev@fncl.ru; <https://orcid.org/0000-0003-2424-4205>³ g.perov@fncl.ru; <https://orcid.org/0000-0002-5830-6817>⁴ Vladimir12321863@gmail.com; <https://orcid.org/0009-0005-9902-3118>

Аннотация. Существующие впусиватели лент льна, несмотря на высокую производительность и надежность, не способствуют увеличению выхода длинного волокна. Исследования проведены с целью оценки влияния способа впусивания на структурные параметры слоя стеблей и разработки рекомендаций для повышения эффективности процесса впусивания. Созданный новый двухпоточный впусиватель лент льна ВЛ-2К лишен недостатков серийных машин. Сравнительные исследования структурных параметров слоя стеблей показали минимальное изменение относительной растянутости стеблей при работе впусивателя ВЛ-2К по сравнению с серийной машиной ВЛ-3, у которой этот показатель почти на 2 п.п. превышает допустимые значения. Вероятность перекашивания стеблей впусивателем ВЛ-2К составила $P(>28^\circ) = 0,004$, в то время как угловая дезориентация стеблей, произведенная серийной ворошилкой ВЛ-3, с вероятностью нарушения агротребований достигла $P(>28^\circ) = 0,21$. Однако для увеличения выхода длинного волокна необходимо добиться снижения растянутости и перекашивания стеблей при выполнении операции впусивания лент. Поскольку возможность эффективного уменьшения растянутости зависит от угловой дезориентации стеблей, для повышения пригодности слоя к последующей выработке длинного волокна необходимо сначала минимизировать имеющиеся перекосы стеблей, а потом приступить к устранению растянутости слоя. Для профилактики возникновения перекосов стеблей целесообразно соблюдать следующие условия: перемещать ленту стеблей льна над подбирающим барабаном с показателем кинематического режима его работы, равным единице; пальцы подбирающего барабана впусивателя должны свободно выходить из впусиваемой ленты под действием беговой дорожки; льноуборочные машины должны выполнять расстил лент льна принудительно и максимально близко к поверхности поля; не допускать необоснованного уплотнения стеблевой массы в лентах тресты. Растянутость стеблей в слое можно снизить комлеподбиванием. Соблюдение рекомендаций поможет добиться увеличения выхода длинного волокна на льнозаводах.

Ключевые слова: лен; впусиватель лента льна; процесс впусивания; перекосы стеблей; растянутость стеблей; выход длинного волокна; пригодность слоя

Финансирование. Работа выполнена при поддержке Минобрнауки России в рамках Государственного задания ФГБНУ ФНЦ ЛК № FGSS-2022-0005.

Для цитирования: Зинцов А.Н., Ковалев М.М., Перов Г.А., Шинкарев В.И. Исследование структурных параметров стеблевого слоя при впусивании лент льна: новые аспекты // Агроинженерия. 2026. Т. 28, № 4. С. 42-50. <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2026-4-42-50>

ORIGINAL ARTICLE

Investigation of the structural parameters of the stem layer during fluffing of flax ribbons: new aspects

A.N. Zintsov¹, M.M. Kovalev², G.A. Perov³✉, V.I. Shinkarev⁴

^{1,4} Kostroma State Agricultural Academy; Karavaevo, Russia

^{2,3} Federal Research Center for Bast Fiber Crops; Tver, Russia

¹ zintsov_a@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0003-3443-2015>

² m.kovalev@fncl.ru; <https://orcid.org/0000-0003-2424-4205>

³ g.perov@fncl.ru✉; <https://orcid.org/0000-0002-5830-6817>

⁴ Vladimir12321863@gmail.com; <https://orcid.org/0009-0005-9902-3118>

Abstract. The existing flax ribbon fluffers, despite their high productivity and reliability, do not contribute to increasing the yield of long fiber. The study aimed to evaluate the effect of the fluffing method on the structural parameters of the stem layer and to develop recommendations for improving the fluffing efficiency. The newly developed two-stream flax ribbon fluffer VL-2K eliminates the disadvantages of serial machines. Comparative studies of the structural parameters of the stem layer showed minimal changes in the relative elongation of stems during operation of the VL-2K fluffer compared to the serial VL-3 machine, in which this indicator exceeds the permissible values by almost 2 percentage points. The probability of stem misalignment with the VL-2K fluffer was $P(>28^\circ) = 0.004$, whereas the angular disorientation of stems produced by the serial VL-3 fluffer reached a probability of violating agrotechnical requirements of $P(>28^\circ) = 0.21$. However, to increase the yield of long fiber, it is necessary to reduce stem elongation and misalignment during the fluffing process. Since the possibility of effectively reducing elongation depends on the angular disorientation of stems, to improve the suitability of the layer for subsequent long-fiber processing, it is first necessary to minimize existing stem misalignments and only then proceed to eliminate layer elongation. To prevent stem misalignment, it is advisable to observe the following conditions: move the flax stem ribbon over the pickup drum with a kinematic mode index equal to unity; make sure that the pickup drum fingers freely exit the fluffed ribbon under the action of the raceway; make sure that flax harvesting machines spread flax ribbons forcibly and as close as possible to the field surface; avoid unnecessary compaction of stem mass in the ribbons of the retted straw. Stem elongation in the layer can be reduced by butt-end beating. Compliance with these recommendations will help achieve an increase in the yield of long fiber at flax processing facilities.

Keywords: flax; flax ribbon fluffer; fluffing; stem misalignment; stem elongation; long fiber yield; layer suitability

Funding: The research was supported by the Ministry of Education and Science of the Russian Federation within the framework of the State assignment for Federal Research Center for Bast Fiber Crops No. FGSS-2022-0005.

For citation: Zintsov A.N., Kovalev M.M., Perov G.A., Shinkarev V.I. Investigation of the structural parameters of the stem layer during fluffing of flax ribbons: new aspects. *Agricultural Engineering (Moscow)*. 2026;28(4):42-50. (In Russ.). <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2026-4-42-50>

Введение

Переход от термовлажностного способа приготовления тресты на льнозаводе к технологии росной мочки в естественных условиях обусловлен стремлением экономии энергоресурсов и экологизации производства [1, 2]. Однако при вылежке в естественных условиях на поверхности льнища существенно различается динамика биологических процессов, происходящих в верхних и нижних слоях лент стеблей льна. Чаще всего различия проявляются в годы с неустойчивыми погодными условиями во время

приготовления тресты. Обильные осадки в этот период в сочетании с недостатком солнечной радиации и низкой температурой воздуха, высокая урожайность тресты и присутствие сорняков на поверхности поля снижают темпы мацерации и повышают вероятность развития гнилостных процессов в нижних слоях переувлажненных лент. Наиболее активно гниение стеблей с заметным понижением качества волокнистой продукции происходит в лентах, прибитых дождями к поверхности льнища и пророщенных сорняками^{1,2} [3].

¹ Боярченкова М.М., Быков Н.Н. Эффективность оборачивания тресты // Лен и конопля. 1974. № 9. С. 30-31.

² Сизов В.И., Сизов И.В. Разработка оборачивателей льна: тенденции и перспективы // Интенсификация машинных технологий производства и переработки льнопродукции: Материалы Международной научно-практической конференции (г. Тверь, 15-16 июля 2004 г.). М.: Изд-во ВИМ, 2004. Ч. 1. С. 155-162.

Обзор научных исследований и производственный опыт позволили выделить два основных способа сохранения и повышения качества волокнистой продукции: периодическое оборачивание и впусшивание лент стеблей³ [2, 3].

Оборачивание ленты создает равные условия вылежки как для верхнего, так и для нижнего слоев, и способствует увеличению однородности льнотресты по всем технологическим показателям [2, 4]. Однако существующие оборачиватели, выполненные по однопоточной технологической схеме (ОСН-1, ОЛЛ-1, ОЛС-1, ОЛ-140) с постоянным зазором оборачивающего канала, являются недостаточно производительными и отличаются низкой технологической надежностью⁴. Кроме того, при работе подборщиков-оборачивателей усиливаются кривизна лент, растянутость и угловая дезориентация в них стеблей. При каждом последующем оборачивании значения данных структурных параметров увеличиваются в среднем на 5%-ных пунктов. Поэтому выход длинного волокна на льнозаводах редко превышает 8...10%, хотя его содержание в растениях достигает 30...33% [5].

Впусшиватели (ворошилки) с двух- или трехпоточной технологической схемой (ВЛ-2, ВЛ-3, ВВЛ-3, ВЛК-3Ч, ВЛН-4,5 и др.) более производительны, надежны и имеют простую конструкцию, однако еще больше перепутывают стебли во впущенном слое,

усугубляя ситуацию, заключающуюся в низком выходе длинного волокна на льнозаводе⁵. Процесс впусшивания происходит в пространстве между ворошилками с пружинными зубьями и поверхностью почвы [6] (рис. 1). За счет того, что концы пружинных зубьев в зоне подбора работают с некоторым запаздыванием относительно поступательной скорости движения агрегата, стеблевая масса подгребаются с беспорядочным смещением различных участков стеблей в вертикальном направлении и в направлении движения агрегата. Впущенные таким образом ленты льна довольно быстро подсыхают, однако после размотки рулона структурные параметры полученного слоя ухудшаются, и существенно снижается его пригодность к выделению длинного волокна. Другим недостатком серийных впусшивателей (ворошилок) является невысокая чистота подбора (от 90%)⁶.

Несмотря на низкое качество работы впусшивателей, большинство льноводов выбирают операцию впусшивания лент стеблей. Такое обстоятельство требует от ученых и конструкторов решения проблемы повышения эффективности процесса впусшивания.

Цель исследований: оценка влияния способов впусшивания на структурные параметры слоя стеблей и разработка рекомендаций для повышения эффективности процесса впусшивания.



Рис. 1. Ворошилка лент льна ВЛ-3

Fig. 1. Flax ribbon agitator VL-3

³ Яблоков А.А., Смирнов Н.А. Обзор впусшивателей лент льна // Актуальные проблемы науки в агропромышленном комплексе: Материалы 60-й Международной научно-практической конференции. Кострома: КГСХА, 2009. Т. 3. С. 84-85.

⁴ Смирнов Н.А., Зинцов А.Н., Смирнов С.В., Соколов В.Н. Анализ работы ворошилок лент льна // Научное обеспечение производства прядильных культур: состояние, проблемы и перспективы: Сборник научных трудов. Тверь: Тверской государственный университет, 2018. С. 242-247. EDN: VUSHQJ.

⁵ Смирнов Н.А., Зинцов А.Н., Смирнов С.В., Соколов В.Н. Анализ работы ворошилок лент льна // Научное обеспечение производства прядильных культур: состояние, проблемы и перспективы: Сборник научных трудов. Тверь: Тверской государственный университет, 2018. С. 242-247. EDN: VUSHQJ.

⁶ Колчина Л.М., Крюков И.В. Технологии и технические средства для возделывания, уборки и первичной переработки льна-долгунца: Каталог-справочник. М.: ФГНУ «Росинформагротех», 2003. 132 с.

Материалы и методы

Для достижения поставленной цели проанализировали инновационные технические разработки и результаты научных исследований, направленные на повышение эффективности вспушивания лент тресты льняной.

Разработанные белорусскими учеными и конструкторами инновационные вспушиватели В-1 (ПО «Бобруйскагромаш») и ТПЛ-1 (ПО «Гомсельмаш»)⁷ в отличие от существующих аналогов перемещают ленты стеблей над подбирающим барабаном с максимальным сохранением исходных структурных параметров слоя стеблей. Однако при повышенных скоростях движения эти вспушиватели допускают недостаточно высокую чистоту подбора (полноту вспушивания). Кроме того, вспушиватели В-1 и ТПЛ-1 выполнены по однопоточной схеме, что в совокупности с отмеченным недостатком приводит к заметному снижению их производительности.

Ученые Костромской ГСХА предложили схему нового двухпоточного вспушивателя лент льна [7, 8] с показателем кинематического режима работы, равным единице (патент № 2694887) [7]. В конструкции подбирающих аппаратов нового вспушивателя (патент № 2658387) [8, 9] подпружиненные подбирающие пальцы работают независимо друг от друга и совершают движения по специальной траектории. Совокупность новых технических решений должна уменьшить вероятность подгребания стеблевой массы в направлении движения агрегата, тем самым повышая пригодность вспушенного слоя стеблей к выделению длинного волокна трепанием. По заказу Минсельхоза России учеными Костромской ГСХА изготовлен опытный образец инновационного двухпоточного вспушивателя ВЛ-2К (рис. 2).

В 2022 г. на опытном поле Костромской ГСХА при участии ученых Федерального научного центра лубяных культур (г. Тверь) проведен сравнительный эксперимент с целью количественной оценки изменений структурных параметров стеблевого слоя под воздействием рабочих органов серийной ворошилки ВЛ-3 и опытной машины ВЛ-2К [10].

Согласно программе исследований был вытерблен лен льноуборочным комбайном ЛК-4А с растилом стеблевой массы в ленту на поверхность льнища. Полученные ленты стеблей оставляли на три недели в поле для росистой вылежки и прорастания

травой. После завершения вылежки ленты готовой тресты вспушивали серийной и опытной машинами. Далее собирали первичную информацию об основных структурных параметрах слоя стеблей в исходной ленте до прохода агрегатов и после выполнения вспушивания. Наибольший интерес представляли изменения растянутости λ и перекосов α стеблей (угловой дезориентации) во вспушенных лентах. По данным А.М. Ипатова⁸, увеличение параметра λ на 0,3 м снижает пригодность слоя к выработке длинного волокна до 86%. Если же стебли в ленте перекошены с отклонениями от перпендикуляра к направлению движения агрегата до $\alpha = 45^\circ$, то пригодность такого слоя падает до 77%. Учеными установлено, что только за счет уменьшения растянутости и устранения перекосов стеблей в слое можно увеличить выход длинного волокна на 5 процентных пунктов⁹.

Для оценки влияния различных способов вспушивания на изменение растянутости стеблей в ленте отбирали по 10 горстей стеблей с каждой реализации до прохода агрегата и после вспушивания. В каждой горсти измеряли горстевую длину и среднюю длину стеблей. Увеличение растянутости стеблей в слое после вспушивания лент по отношению к растянутости в исходной ленте оценивали в процентных пунктах:

$$\Delta\lambda = \frac{h_b}{\bar{l}_{ст.}} 100 - \frac{h_n}{\bar{l}_{ст.}} 100,$$

где h_b , h_n – горстевая длина стеблей во вспушенной и исходной лентах, м; $\bar{l}_{ст.}$ – средняя длина стеблей в горсти, м.



Рис. 2. Опытный образец инновационного двухпоточного вспушивателя ВЛ-2К

Fig. 2. Prototype of the innovative two-flow fluffer VL-2K

⁷ Колчина Л.М., Крюков И.В. Технологии и технические средства для возделывания, уборки и первичной переработки льна-долгунца: Каталог-справочник. М.: ФГНУ «Росинформагротех», 2003. 132 с.

⁸ Ипатов А.М. Теоретические основы механической обработки стеблей лубяных культур. М.: Легпромбытиздат, 1989.

⁹ Петраченко Д.А., Коропченко С.П. Влияние подготовительных операций в процессе формирования слоя на выход длинного волокна // Austrian Journal of Technical and Natural Sciences. 2014. № 5-6.

Количественную оценку угловой дезориентации стеблей α выполняли в сечениях ленты длиной $L = 200$ м с шагом дискретизации 0,5 м. Таким образом, получили 400 значений углов α . Перекосы стеблей $\alpha(L)$ оценивали по основным статистическим характеристикам: размаху R , математическому ожиданию m и среднему квадратическому отклонению σ .

Результаты и их обсуждение

Внешний вид лент тресты льняной, вспушенных серийной ворошилкой ВЛ-3 и опытным вспушивателем ВЛ-2К, представлен на рисунке 3.

В результате воздействий подбирающих зубьев ворошилки ВЛ-3 относительная растянутость стеблей в ленте возросла на 6,9 п.п. (табл. 1), что почти на 2 п.п. превышает допустимые значения для вспушивателей ($\Delta\lambda_{\text{доп.}} \leq 5$ п.п.). Опытный вспушиватель лент льна ВЛ-2К оказал минимальное влияние на изменение растянутости стеблей.

Результаты статистической обработки первичной информации об угловой дезориентации стеблей в исходной и вспушенных лентах представлены в таблице 2. При расчетах принимали во внимание допуски на перекосы стеблей в лентах при работе льноуборочных машин. Агротехнические требования к работе льноуборочных комбайнов допускают максимальные значения перекоса относительно перпендикуляра к направлению движения агрегата $\alpha_{\text{доп.}} \leq 20^\circ$, а для вспушивателей – $\alpha_{\text{доп.}} \leq 8^\circ$. Таким образом, суммарный перекося стеблей в ленте, сформированной льноуборочным комбайном, после работы вспушивателей не должен превышать $\Sigma\alpha_{\text{доп.}} \leq 28^\circ$.

Анализ полученных результатов показал, что во всех вариантах значения математических ожиданий не превышают агротехнического допуска $m_\alpha \leq 28^\circ$. Вместе с тем, с учетом возможного расширения диапазона рассеивания значений относительно математического ожидания m_α на величину $+3\sigma_\alpha$



Рис. 3. Вспушенные ленты тресты льняной:

I – ленты тресты после работы серийной ворошилкой ВЛ-3; II – ленты тресты после работы опытного вспушивателя ВЛ-2К

Fig. 3. Fluffed flax stem ribbons:

I – flax stem ribbons after operation of the VL-3 serial trowel;
II – flax stem ribbons after the operation of the experimental VL-2K fluffer

Относительная растянутость стеблей

Таблица 1

Table 1

Relative elongation of stems

Вариант агрегата	Растянутость стеблей в ленте, %		
	до вспушивания	после вспушивания	$\Delta\lambda$, п.п.
Серийная ворошилка ВЛ-3	140,7	147,6	6,9
Образец вспушивателя ВЛ-2К	138,1	138,9	0,8

Таблица 2

Статистические характеристики угловой дезориентации стеблей $\alpha(L)$, град.

Table 2

Statistical characteristics of the angular disorientation of stems $\alpha(L)$, degree

Вариант	Размах, R	Математическое ожидание, m_α	Среднее квадратическое отклонение, σ_α
Исходный (до вспушивания)-	25,2	10,13	5,72
ВЛ-3	39,0	16,12	9,41
ВЛ-2К	28,3	11,17	5,77

за пределами допуска оказывается угловая дезориентация стеблей, произведенная серийной ворошилкой ВЛ-3, с вероятностью нарушения агротребований $P(> 28^\circ) = 0,21$ [10]. При этом вероятность такого перекашивания стеблей опытным вспушивателем ВЛ-2К составила всего $P(> 28^\circ) = 0,004$, и нарушение суммарного допуска новой машиной можно отнести к категории невозможных событий.

Несмотря на то, что инновационная машина ВЛ-2К сохраняет исходные значения растянутости и перекосов стеблей во вспушенной ленте, пригодность слоя к выделению длинного волокна после вспушивания все-таки понижается, поскольку структурные параметры стеблевого слоя не улучшаются. Кроме того, в реальных производственных условиях¹⁰ и во время проведения опытов значения растянутости стеблей в исходных лентах существенно превышают допустимые значения агротехнических требований к работе льноуборочного комбайна $\lambda_{\text{доп.}} \leq 120\%$ (табл. 1), и после обработки вспушивателями данный параметр не улучшается. При этом перекосы стеблей во всех вариантах также близки к предельным значениям, что в совокупности с избыточной растянутостью заметно снижает вероятность выделения длинного волокна. Поэтому для повышения выхода длинного волокна недостаточно сохранить исходные структурные параметры слоя стеблей во вспушенных лентах – необходимо изыскать пути снижения растянутости и перекосов стеблей при выполнении операции вспушивания лент.

Известно, что избыточную растянутость или продольный сдвиг стеблей в слое (ленте) можно устранить комлеподбиванием, то есть путем нанесения ударов плоской поверхностью по комлям стеблей в направлении их осей [11]. При этом максимальный эффект может иметь только прямой удар, у которого вектор силы сонаправлен осям стеблей. Поскольку в указанном направлении слой стеблей обладает слабым сопротивлением деформации, то в данном случае удар можно считать неупругим с коэффициентом восстановления $k \rightarrow 0$. Это означает, что подавляющая часть кинетической энергии такого воздействия будет расходоваться на преодоление сопротивлений продольному смещению стеблей в слое относительно друг друга, то есть на уменьшение растянутости. Эта энергия будет затрачена на выполнение полезной работы. Такое состояние слоя представляет собой идеальный вариант (рис. 4а): все стебли параллельны друг другу и расположены перпендикулярно направлению движения льноуборочного агрегата, а их перекосы отсутствуют ($\alpha = 0$). Известно также [12], что в реальных производственных условиях до 10% разостланных лент льна имеют различные дефекты, половина из которых характеризуется перекосами α стеблей более 20° (рис. 4б).

При появлении отклонений α стеблей в ленте от перпендикуляра к направлению движения агрегата удар становится косым ($\alpha \neq 0$). В таком случае вектор силы косого удара относительно осей стеблей приобретает вторую составляющую, направленную перпендикулярно этим осям, что увеличивает

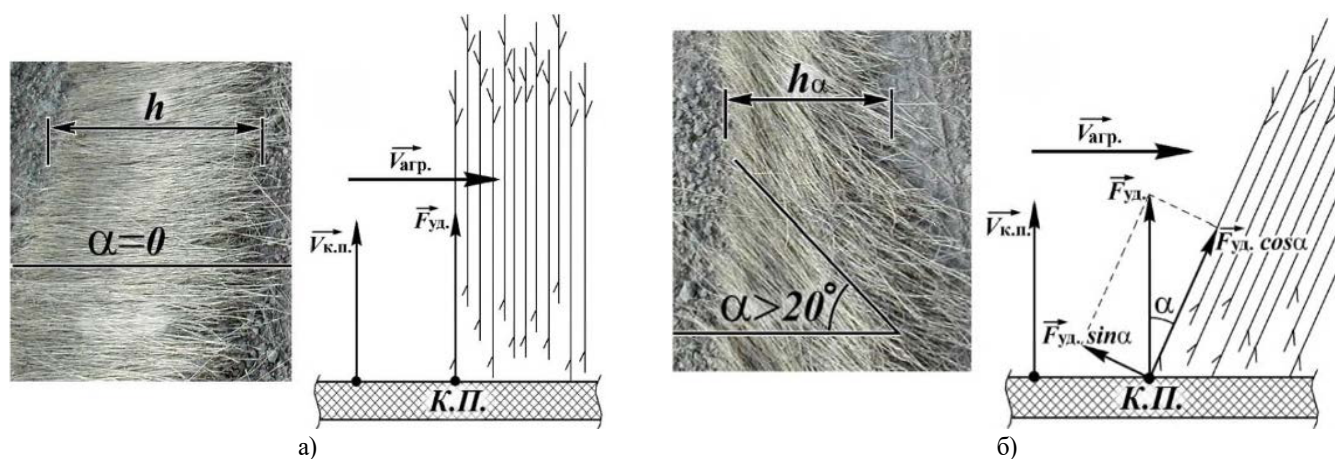


Рис. 4. Схемы комлеподбивания стеблей в ленте:

а) стебли параллельны друг другу и расположены перпендикулярно направлению движения агрегата; б) перекося стеблей $\alpha > 20^\circ$; $V_{\text{агр.}}$ – скорость агрегата; $V_{\text{к.п.}}$ – скорость комлеподбивающей поверхности; $F_{\text{уд.}}$ – сила удара; К.П. – комлеподбивающая поверхность

Fig. 4. Diagrams of stem butt-end beating in the ribbon:

stems are parallel to each other and located perpendicular to the direction of the unit movement; б) distortion α of the stems is more than 20° ; $V_{\text{агр.}}$ – speed of the unit; $V_{\text{к.п.}}$ – speed of the crushing surface; $F_{\text{уд.}}$ – force of impact; К.П. – crushing surface

¹⁰ Лурье А.Б. Статистическая динамика сельскохозяйственных агрегатов. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Колос, 1981. 382 с.

перекос и повреждение стеблей в слое. Величина перпендикулярной составляющей силы пропорциональна $\sin \alpha$. Эта часть кинетической энергии удара будет затрачена на выполнение вредной работы, и эффективность силы удара в направлении осей стеблей снизится пропорционально $\cos \alpha$ (рис. 4б).

Поскольку возможность устранения избыточной растянутости зависит от степени угловой дезориентации стеблей, то необходимо соблюдать очередность воздействий: в первую очередь исправить имеющиеся перекосы стеблей, а потом устранять избыточную растянутость слоя. Для профилактики образования перекосов стеблей в исходных лентах в льноуборочных машинах применяют различные устройства для принудительного расстила стеблевой массы⁹ [12-15].

Необходимость устранения перекосов стеблей продиктована также тремя важными аспектами. Во-первых, агротехнические требования допускают отклонения стеблей в ленте от нормали к направлению движения агрегата на угол не больше 20° . В основу такого ограничения положено значение коэффициента трения скольжения сухих стеблей по металлической поверхности пальцев $\mu = 0,38$ ¹¹, что соответствует углу их трения $\varphi = 20,8^\circ$. Поэтому при работе льноподборщиков на лентах с параметром $\alpha > \varphi$ подбирающие пальцы в месте контакта с перекошенными стеблями начнут скользить по их поверхности в осевом направлении. Такое взаимодействие еще больше усилит перекос стеблей и увеличит их потери на поле. Во-вторых, любые перекосы стеблей уменьшают ширину ленты с величины h до h_α (рис. 4 а, б), что повышает вероятность «промахов» или случайных отклонений подбирающего аппарата от ленты

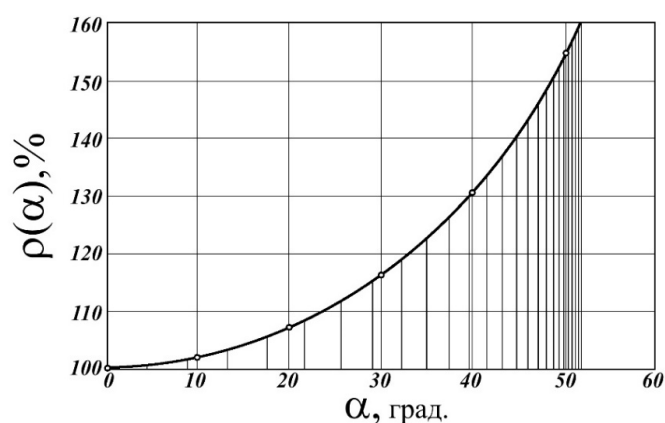


Рис. 5. Зависимость плотности ρ стеблевой массы от угла α

Fig. 5. Relationship between the density ρ of the stem mass and the angle α

¹¹ Ковалев Н.Г., Хайлис Г.А., Ковалев М.М. Сельскохозяйственные материалы (виды, состав, свойства) // Журнал «Аграрная наука». М.: ИК «Родник», 1998. 208 с.

стеблей льна в горизонтальной плоскости, причем размер «мишени» для льноподборщиков уменьшается по закону косинуса: $h_\alpha = h \cdot \cos \alpha$. В-третьих, увеличение перекоса стеблей вызывает прогрессивное уплотнение стеблевой массы (ρ) (рис. 5). При этом количество стеблей на единице площади ленты и размер «мишени» связаны обратно пропорциональной зависимостью, шт/м² ленты:

$$\rho(h_\alpha) = \frac{n}{L_k \cdot h_\alpha},$$

где n – количество растений на контрольном отрезке ленты, шт.; L_k – длина контрольного отрезка, м.

Прогрессивный характер зависимости $\rho(\alpha)$ наглядно демонстрирует негативное влияние перекосов на плотность ленты. При увеличении перекоса α в пределах агротехнических требований с 0 до 20° плотность ленты возрастает на 6,4%, а при 50° – более чем в 1,5 раза. Повышенная плотность ленты льна затрудняет движение воздуха между стеблями и препятствует проникновению солнечного света внутрь слоя растений. В таких условиях волокнистая продукция заметно теряет свое качество от избытка влаги и чрезмерной активности процессов гниения.

На основе анализа полученных результатов выделим следующие рекомендации для повышения эффективности вспушивания лент льна:

- ленту стеблей льна при вспушивании следует перемещать над подбирающим барабаном с показателем кинематического режима его работы, равным единице, для уменьшения вероятности подгребания стеблей с перекосом;
- пальцы подбирающего барабана вспушивателя должны свободно выходить из вспушенной ленты под действием беговой дорожки, что также исключает смещение различных участков стеблей в направлении движения агрегата;
- для уменьшения растянутости стеблей в ленте необходимо выполнять комлеподбивание во вспушенном слое стеблей;
- для повышения эффективности комлеподбивания следует предварительно уменьшать перекосы стеблей в ленте;
- для профилактики образования перекосов стеблей в исходных лентах при организации уборочных работ следует отдавать предпочтение льноуборочным машинам, выполняющим расстил лент льна принудительно и максимально близко к поверхности поля [12].

Выводы

1. Современные вспушиватели ухудшают растянутость и дезориентацию стеблей в ленте, отвечающих

за пригодность слоя к выделению длинного волокна при переработке тресты на льнозаводе.

2. При работе серийной ворошилки ВЛН-3 увеличивается относительная растянутость стеблей в ленте $\Delta\lambda$ на 6,9 п.п. и усиливается дезориентация стеблей с вероятностью нарушения агротребований $P(>28^\circ) = 0,21$. Конструкция разработанной инновационной машины ВЛ-2К позволяет максимально сохранить исходные значения основных структурных параметров стеблевого слоя с показателями $\Delta\lambda = 0,8$ п.п. и $P(>28^\circ) = 0,004$.

3. Для повышения выхода длинного волокна необходимо сначала исправить имеющиеся перекосы,

а потом устранять избыточную растянутость стеблей в слое. Для профилактики образования перекосов стеблей в лентах целесообразно в льноуборочных машинах применять устройства для принудительного расстила стеблевой массы, ленту стеблей льна перемещать над подбирающим барабаном с показателем кинематического режима его работы, равным единице. При этом пальцы подбирающих барабанов должны иметь пружинное исполнение, работать независимо друг от друга и двигаться по особой траектории. Растянутость стеблей в слое можно снизить комбеподбиванием.

Список источников

1. Akin D.E. Linen most useful: Perspectives on structure, chemistry, and enzymes for retting flax. *International Scholarly Research Notices*. 2013;2013:186534. PMID: 25969769
2. Ростовцев Р.А., Черников В.Г., Ушаповский И.В., Попов Р.А. Основные проблемы научного обеспечения льноводства // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2020. Т. 14, № 3. С. 45-52. <https://doi.org/10.22314/2073-7599-2020-14-3-45-52>
3. Ковалев М.М., Перов Г.А., Перов М.Г. Интенсификация процесса вспушивания лент льна // *Техника и оборудование для села*. 2015. № 12. С. 24-29. EDN: VCQHAN
4. Mańkowski J., Maksymiuk W., Spychalski G. et al. Research on new technology of fiber flax harvesting. *Journal of Natural Fibers*. 2018;15(1):53-61. <https://doi.org/10.1080/15440478.2017.1302390>
5. Зинцов А.Н., Билан М.М. О необходимости совершенствования процесса вспушивания лент тресты льняной // *Аграрный вестник Нечерноземья*. 2022. № 2. С. 38-44. EDN: BASIXY
6. Цветков А.О., Смирнов Н.А. Анализ работы вспушивателей лент тресты льняной // *Труды Костромской государственной сельскохозяйственной академии*. 2016. № 85. С. 132-136. EDN: WLDRWT
7. Вспушиватель лент льна: Патент № 2694887 Российская Федерация, МПК A01D45/06 / Н.А. Смирнов, В.Н. Соколов, А.А. Яблоков, С.В. Смирнов; заявл. 22.12.2016; опубл. 18.07.2019; Бюл. № 20. EDN: RRSNRH
8. Подбирающий аппарат для стеблей сельскохозяйственных культур: Патент № 2658387 Российская Федерация, МПК A01D89/00 / Н.А. Смирнов, В.Н. Соколов, С.В. Смирнов; заявл. 14.02.2017; опубл. 21.06.2018; Бюл. № 18. EDN: AABYRY
9. Зинцов А.Н., Соколов В.Н. Новый процесс вспушивания лент льнотресты // *Тракторы и сельхозмашины*. 2020. № 6. С. 91-100. EDN: YONHPV
10. Зинцов А.Н., Ковалев М.М., Перов Г.А. и др. Влияние процессов вспушивания ленты стеблей льна на структурные параметры слоя // *Инженерные технологии и системы*. 2023. Т. 33, № 4. С. 542-557. <https://doi.org/10.15507/2658-4123.033.202304.542-557>
11. Зинцов А.Н., Ковалев М.М., Перов Г.А. Вероятностная модель кинематики устройства для уменьшения растянутости стеблей льна-долгунца в ленте // *Инженерные технологии и системы*. 2022. Т. 32, № 1. С. 126-144. EDN: LFNKCT
12. Зинцов А.Н., Билан М.М., Добрецов В.А. Исследование и профилактика дефектов лент льна-долгунца // *Аграрный вестник Нечерноземья*. 2022. № 3. С. 56-63. EDN: OSGWED

References

1. Akin D.E. Linen Most Useful: Perspectives on Structure, Chemistry, and Enzymes for Retting Flax. *International Scholarly Research Notices*. 2013;2013:186534. PMID: 25969769
2. Rostovtsev R.A., Chernikov V.G., Ushchapovsky I.V., Popov R.A. The main problems of scientific support of flax growing. *Agricultural Machinery and Technologies*. 2020;14(3):45-52. (In Russ.) <https://doi.org/10.22314/2073-7599-2020-14-3-45-52>
3. Kovalev M.M., Perov G.A., Perov M.G. Intensification of flax strips fluffing process. *Machinery and Equipment for Rural Area*. 2015;12:24-29. (In Russ.)
4. Mańkowski J., Maksymiuk W., Spychalski G. et al. Research on new technology of fiber flax harvesting. *Journal of Natural Fibers*. 2018;15(1):53-61. <https://doi.org/10.1080/15440478.2017.1302390>
5. Zintsov A.N., Bilan M.M. On the need to improve the process of fluffing flax linen ribbons. *Agrarian Bulletin of the Non-Chernozem Area*. 2022;2:38-44. (In Russ.)
6. Tsvetkov A.O., Smirnov N.A. Analysis of operation of a fluffer of flax ribbons. *Trudy Kostromskoy gosudarstvennoy selskokhozyaystvennoy akademii*. 2016;85:132-136. (In Russ.)
7. Smirnov N.A., Sokolov V.N., Yablokov A.A., Smirnov S.V. Flutter of flax tapes: Patent, No. 2694887 Russian Federation, IPC A01D45/06 (2006.01); applied on December 22, 2016; issued on July 18, 2019. (In Russ.)
8. Smirnov N.A., Sokolov V.N., Smirnov S.V. Picking apparatus for stems of crops: Patent, No. 2658387 Russian Federation, IPC A01D89/00 (2006.01); applied on February 14, 2017; issued on June 21, 2018. (In Russ.)
9. Zintsov A.N., Sokolov V.N. New process for fluffing rotted straw. *Tractors and Agricultural Machinery*. 2020;6:91-100. (In Russ.)
10. Zintsov A.N., Kovalev M.M., Perov G.A. et al. Influence of the processes of fluffing the flax stem strips on the structural parameters of the layer. *Engineering Technologies and Systems*. 2023;33(4):542-557. (In Russ.) <https://doi.org/10.15507/2658-4123.033.202304.542-557>
11. Zintsov A.N., Kovalev M.M., Perov G.A. Probabilistic model of the kinematics of the device for reducing elongation of flax fiber stems in the tape. *Engineering Technologies and Systems*. 2022;32(1):126-144. (In Russ.) <https://doi.org/10.15507/2658-4123.032.202201.126-144>
12. Zintsov A.N., Bilan M.M., Dobretsov V.A. Investigation and prevention of defects in flax tapes annotation. *Agrarian Bulletin of the Non-Chernozem Area*. 2022;3:56-63. (In Russ.)
13. Zubanov V.V., Zintsov A.N., Kovalev M.M., Smirnov N.A., Sokolov V.N. Apparatus for forced spreading of flax strip

13. Устройство для принудительного расстила ленты к льноуборочным машинам: Патент № 2193301 Российская Федерация, МПК A0145/06 / В.В. Зубанов, А.Н. Зинцов, М.М. Ковалев, Н.А. Смирнов, В.Н. Соколов; заявл. 19.07.1999; опубл. 27.11.2002; Бюл. № 33. EDN: LASIZC

14. Устройство для перемещения ленты растений: Патент № 2221361 Российская Федерация, МПК A0145/06 / Н.А. Смирнов, А.Н. Зинцов, В.Н. Соколов; заявл. 03.01.2002; опубл. 20.01.2004; Бюл. № 2. EDN: ZOCONN

15. Расстилочное устройство к льноуборочным машинам: Патент № 2834953 Российская Федерация, МПК A0145/06 / А.Н. Зинцов; заявл. 10.01.2024; опубл. 19.02.2025; Бюл. № 5. EDN: GSXIMA

Информация об авторах

¹ **Зинцов Александр Николаевич**, д-р техн. наук, доцент, заведующий кафедрой автомобилей, тракторов и технических систем; zintsov_a@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0003-3443-2015>; SPIN-код: 2073-8846

² **Ковалев Михаил Михайлович**, д-р техн. наук, профессор, главный научный сотрудник; m.kovalev@fncl.ru; <https://orcid.org/0000-0003-2424-4205>; SPIN-код: 6189-8619

³ **Перов Геннадий Анатольевич**, канд. техн. наук, ведущий научный сотрудник; g.perov@fncl.ru; <https://orcid.org/0000-0002-5830-6817>; SPIN-код: 4478-4991

⁴ **Шинкарев Владимир Игоревич**, аспирант, кафедра автомобилей, тракторов и технических систем; Vladimir12321863@gmail.com; <https://orcid.org/0009-0005-9902-3118>; SPIN-код: 1163-7054

^{1,4} Костромская государственная сельскохозяйственная академия; 156530, Российская Федерация, Костромская область, пос. Караваево, ул. Учебный городок, 34

^{2,3} Федеральный научный центр лубяных культур; 170041, Российская Федерация, г. Тверь, Комсомольский пр-т, 17/56

Вклад авторов

А.Н. Зинцов – концептуализация, руководство исследованиями, проведение исследований, формальный анализ, создание окончательной версии рукописи и ее редактирование; М.М. Ковалев – методология и администрирование проекта; Г.А. Перов – проведение исследований, формальный анализ и верификация данных, создание черновика рукописи и ее редактирование; В.И. Шинкарев – проведение исследований, формальный анализ и верификация данных, создание черновика рукописи.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов и несут ответственность за плагиат.

Статья поступила 12.03.2026, после рецензирования и доработки 02.06.2026; принята к публикации 03.07.2026

in flax harvester: Patent, No. 2193301 Russian Federation, IPC A0145/06 (2000.01); applied on July 19, 1999; issued on November 27, 2002. (In Russ.)

14. Smirnov N.A., Zintsov A.N., Sokolov V.N. Apparatus for transportation of plant tape: Patent, No. 2221361 Russian Federation, IPC A0145/06 (2000.01); applied on January 03, 2002; issued on January 20.01.2004. (In Russ.)

15. Zintsov A.N. Spreading device for flax harvesting machines: Patent, No. 2834953 Russian Federation, IPC A0145/06 (2006.01); applied on January 10, 2024; issued on February 19, 2025. (In Russ.)

Author Information

Aleksandr N. Zintsov¹, DSc (Eng), Associate Professor, Head of the Department of Automobiles, Tractors and Technical Systems; zintsov_a@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0003-3443-2015>

Mikhail M. Kovalev², DSc (Eng), Professor, Chief Research Engineer; m.kovalev@fncl.ru; <https://orcid.org/0000-0003-2424-4205>

Gennady A. Perov³, CSc (Eng), Lead Research Engineer; g.perov@fncl.ru; <https://orcid.org/0000-0002-5830-6817>

Vladimir I. Shinkarev⁴, postgraduate student, Department of Automobiles, Tractors and Technical Systems; Vladimir12321863@gmail.com; <https://orcid.org/0009-0005-9902-3118>

^{1,4} Kostroma State Agricultural Academy; 156530, Russian Federation, Kostroma region, Karavaevo, Uchebny gorodok Str., 34.

^{2,3} Federal Scientific Center for Bast Crops; 17/56, Komsomolskiy Ave., Tver, 170041, Russian Federation

Author Contribution

A.N. Zintsov – conceptualization; research supervision; investigation; formal analysis; writing – review and editing of the manuscript; M.M. Kovalev – methodology; project administration; G.A. Perov – investigation; formal analysis; data curation; writing – original draft; V.I. Shinkarev – investigation; formal analysis; data curation; writing – original draft.

Conflict of interests

The authors declare no conflict of interests regarding the publication of this article and are responsible for plagiarism.

Received 12.03.2026; Revised 02.06.2026; Accepted 03.07.2026