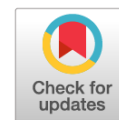


DOI: <https://doi.org/10.17816/0321-4443-352499>

Оригинальное исследование



Обоснование параметров теребильных секций аппаратов с поперечными ручьями

Р.А. Ростовцев, М.М. Ковалев, Г.А. Перов, С.В. Просолов

Федеральный научный центр лубяных культур, Тверь, Российская Федерация

АННОТАЦИЯ

Обоснование. В современных технологиях уборки основной технологической операцией является механизированное теребление посевов. Льнотеребильный аппарат с поперечными ленточно-дисковыми ручьями является наиболее перспективным. Однако в нем недостаточно обоснованы основные конструкционные параметры теребильных секций, не рассмотрены особенности их компоновки, недостаточно изучены процессы перемещения растений по секциям и теребления короткостебельного льна, что снижает эффективность его применения.

Цель работы — теоретическое и экспериментальное обоснование параметров и режимов работы теребильных секций аппарата с поперечными ленточно-дисковыми ручьями.

Материалы и методы. Экспериментальные исследования по обоснованию параметров и режимов работы опытных теребильных аппаратов проводили по известным и разработанным методикам, а оценку льнопродукции — по действующим ГОСТам. Определялось влияние скорости агрегата и ширины захвата теребильных секций на показатели агротехнической и технологической оценки работы теребильного аппарата.

Результаты исследования. Получены зависимости для определения конструкционных параметров теребильной секции и минимальной высоты стеблестоя, пригодного для механизированной уборки, установлены условия дотеребления и перемещения растений в зоне неподвижных направляющих. Конструкции опытных теребильных аппаратов использовали для оценки скорости агрегата; влияния ширины захвата теребильной секции и устранения разделения технологических потоков растений при тереблении на улучшение агротехнических показателей работы и повышение выхода и номера длинного волокна. В аппарате ТЛН-1,9П элементы рамы расположены над теребильными шкивами, и ширина захвата секции 0,38 м, а в аппаратах ТЛН-1,9М и ТЛН-1,9К за теребильными шкивами, с шириной захвата секции 0,35 и 0,31 м соответственно. Вследствие этого треста имела более высокие показатели качества: 1,5 номера у ТЛН-1,9М и ТЛН-1,9К и 1,25 номера у ТЛН-1,9П; средний выход длинного волокна у этих аппаратов составил: 13,41, 13,1 и 12,59 % соответственно.

Заключение. При компоновке теребильных аппаратов с поперечными ленточно-дисковыми ручьями элементы конструкции рамы следует располагать за теребильными шкивами, применять технические решения, обеспечивающие кинематический режим работы, равный единице, при ширине захвата секций 0,31 м для уборки селекционно-семеноводческих и 0,35 м для теребления товарных посевов.

Ключевые слова: лен-долгунец; растения; стебли; коробочки; теребильная секция; теребильный ручей; треста; длинное волокно.

Как цитировать:

Ростовцев Р.А., Ковалев М.М., Перов Г.А., Просолов С.В. Обоснование параметров теребильных секций аппаратов с поперечными ручьями // Тракторы и сельхозмашины. 2023. Т. 90, № 4. С. 373–385. DOI: <https://doi.org/10.17816/0321-4443-352499>

DOI: <https://doi.org/10.17816/0321-4443-352499>

Original Study Article

Justification of the parameters of pulling sections of units with transverse channels

Roman A. Rostovtsev, Mikhail M. Kovalev, Gennady A. Perov, Sergey V. Prosolov

Federal Research Center for Bast Fiber Crops, Tver, Russian Federation

ABSTRACT

BACKGROUND: In modern harvesting technologies, the main technological operation is mechanized crops pulling. The flax-pulling machine with transverse band-disc channels is the most promising. However, the basic design parameters of pulling sections are not justified sufficiently, the peculiarities of their layout are not considered, the processes of moving plants through sections and pulling short-stemmed flax are not sufficiently studied, which reduces the effectiveness of its use.

AIMS: Theoretical and experimental justification of the parameters and operation modes of pulling sections of the device with transverse band-disc channels.

METHODS: Experimental studies to justify the parameters and operation modes of experimental pulling machines were carried out according to known and developed methods, and the assessment of flax products was carried out according to current GOST standards. The influence of the velocity of the unit and the width of the grip of pulling sections on the indicators of the agrotechnical and technological assessment of the operation of pulling device was determined.

RESULTS: Dependences for determining the design parameters of a pulling section and the minimum height of plant stand suitable for mechanized harvesting were obtained, the conditions for finishing and moving plants in the zone of fixed guides were established. The structures of the experimental pulling machines were used to assess the unit velocity, the effect of the width of a pulling section and the elimination of the separation of technological currents of plants during processing on improving agrotechnical performance and increasing the yield and number of long fiber. The frame elements of the TLN-1.9P unit, are placed above the pull pulleys, and the operating width of a section is 0.38 m. In the TLN-1.9M and the TLN-1.9K units, they are located behind the pull pulleys, with the operating width of a section of 0.35 and 0.31 m respectively. As a result, the flax straw had higher quality indicators: 1.5 numbers for the TLN-1.9M and the TLN-1.9K and 1.25 numbers for the TLN-1.9P; the average yield of long fiber of these units was 13.41, 13.1 and 12.59% respectively.

CONCLUSIONS: When assembling pulling machines with transverse band-disc channels, the elements of the frame structure should be positioned behind pulling drums, technical solutions should be used to ensure the kinematic operation mode equal to one, with the operating width of a section of 0.31 m for harvesting seed breeding and 0.35 m for harvesting commercial crops.

Keywords: long-fiber flax; plants; stems; bolls; pulling section; pulling channel; flax straw; long fiber.

To cite this article:

Rostovtsev RA, Kovalev MM, Perov GA, Prosolov SV. Justification of the parameters of pulling sections of units with transverse channels. *Tractors and Agricultural Machinery*. 2023;90(4):373–385. DOI: <https://doi.org/10.17816/0321-4443-352499>

Received: 26.04.2023

Accepted: 01.08.2023

Published online: 15.09.2023

ВВЕДЕНИЕ

Лен-долгунец — единственная в нашей стране прядильная культура стратегического назначения в силу своих уникальных свойств и возможности использования в различных отраслях экономики. Несмотря на это в последние годы происходит спад его производства, остается низким качество льносырья. Создание отечественной сырьевой базы позволит сократить импортные поставки целлюлозного текстильного сырья и решить вопросы повышения экологической безопасности товаров народного потребления и здоровья нации [1]. Одним из приоритетных направлений в решении этого вопроса является увеличение урожайности льняного поля и повышение качества льнопродукции [2]. При выполнении технологических процессов механизмы и рабочие органы уборочных машин активно взаимодействуют с растениями льна-долгунца. При этом они испытывают деформации сжатия, растяжения, скручивания и др., что может негативно сказаться на сборах и качестве льнопродукции [3]. Объемы и качество ее во многом определяются применяемыми технологиями уборки культуры, с последующим приготвлением и реализацией льнотресты на перерабатывающие предприятия.

Уборку льна осуществляют по сноповой (в первичном семеноводстве), комбайновой, двухфазной, комбинированной и дифференцированной технологиям, направленным либо на получение высококачественной волокнистой продукции, либо посевного материала. В этих технологиях уборки основной технологической операцией является механизированное теребление различного по состоянию стеблестоя льна (извлечение созревших растений из земли вместе с корнями) на больших площадях, обеспечивающее получение семенной и волокнистой товарной продукции в ограниченные сроки. Кроме того, для эффективного использования технических средств на последующих технологических операциях по приготвлению и реализации льнотресты каждая механизированная операция в технологической цепочке должна создавать наилучшие условия для последующего технического воздействия. При тереблении такие условия зависят от качества сформированных и разостланных лент. Поэтому для сохранения выращенного урожая на всех этапах уборочных работ необходимо постоянное совершенствование льнотеребильных аппаратов, конструкционные особенности рабочих органов которых, как в отечественных, так и в зарубежных машинах, могут оказывать механическое влияние на растения, приводящее к ухудшению количественных и качественных показателей работы [4–6].

Для теребления льна используются многочисленные методы и разнообразные устройства. Анализ достоинств и недостатков каждой конструкционной схемы

устройства позволяет определить цель использования технического средства и учесть при этом особенности выполняемого технологического процесса [7, 8].

Ленточно-дисковый теребильный ручей, имеющий наиболее простую конструкцию, равномерное распределение давления по длине ручья, отсутствие скольжения ремня по диску, высокую надежность выполнения технологического процесса и малую мощность для привода, является наиболее перспективным. Поэтому он широко используется в теребильных аппаратах с поперечным относительно движения мобильного энергосредства технологическим потоком растений льна: ТЛН-1,5А (с расстилом лент растений в сторону убранного поля, ТЛН-1,9М и ТЛН-1,9П (с расстилом лент между колес энергосредства [9–11].

В настоящее время известно много работ, в которых изложены теория и методы расчета аппаратов с поперечными ленточно-дисковыми ручьями, проанализировано взаимодействие рабочих органов со стеблями и коробочками, рекомендованы приемы, улучшающие качество теребления льна-долгунца [7, 8, 12].

В процессе вегетации в зависимости от складывающихся погодных условий лен вырастает длинностебельным (длиной более 0,9 м), среднестебельным (с длиной 0,6–0,9 м) и короткостебельным (с длиной растений менее 0,5 м). Уборка длинностебельного и среднестебельного льна как прямостоячего, так и ползлого, изучена достаточно полно. Теребление короткостебельного льна мало исследовано [5, 11, 13].

Таким образом из анализа изложенного следует, что несмотря на многочисленные исследования процесса теребления льна аппаратами с поперечными ручьями ряд вопросов изучены недостаточно. Не определены основные конструкционные параметры теребильных секций, не рассмотрены особенности их компоновки, мало изучен процесс перемещения стеблей в зоне неподвижных (пассивных) направляющих, не установлены возможности теребления короткостебельного льна.

Цель работы — теоретическое и экспериментальное обоснование параметров и режимов работы теребильных секций аппарата с поперечными ленточно-дисковыми ручьями.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Опыт проектирования и эксплуатации льнотеребильных аппаратов свидетельствует о том, что наиболее рациональной их конструкцией являются аппараты с поперечными ленточно-дисковыми ручьями. Технологические потоки в этих аппаратах движутся в поперечном к движению машины направлении и поступают на расстил. Учитывая это, такой тип аппарата принят нами для исследований. На рис. 1 изображены три его теребильные секции с шириной захвата b каждой.

Аппарат содержит бесконечный теребивный ремень 1, получающий движение от ведущего шкива 2, ряд ведомых теребивных шкивов 3, с центрами O_1, O_2, O_3 , и отклоняющие ролики 4, с центрами O_1', O_2', O_3' . Каждая теребивная секция снабжена парой консолю закрепленных направляющих 5, одна из которых установлена в верхней части отклоняющего ролика 4, а другая — в нижней его части. На участках D_1E_1 и D_2E_2 направляющие 5 прижимают стебли к теребивному ремню 1, а на участках $A_1B_1C_1$ и $A_2B_2C_2$ стебли зажимаются между теребивным ремнем 1 и ведомыми теребивными шкивами 3. Детали и узлы теребивного аппарата закрепляются на трубах 6 рамы, расположенных либо над теребивными шкивами 3 (рис. 1, б), либо под ними (рис. 1, с) [6, 9].

При работе аппарата стебли делителями 7, с прямолинейными, либо со стеблеподводами переменной кривизны [14], подводятся в устья K_1, K_2, K_3 теребивных ручьев, после чего перемещаются в теребивные участки $A_1B_1C_1, A_2B_2C_2$ и $A_3B_3C_3$, где извлекаются из почвы. Пройдя путь по дугам $A_1B_1C_1$ и D_1E_1 через устье K_2 стебли поступают для теребивления во вторую секцию. При этом, на дугах $A_2B_2C_2$ и D_2E_2 перемещаются стебли из первой и второй секций, которые через устье K_3 теребивного ручья поступают в теребивную секцию

$A_3B_3C_3$. В этом состоит работа теребивного аппарата с поперечными ручьями, который может состоять из четырех или большего количества секций.

Для такого аппарата важно, чтобы стебли надежно зажимались на участках $A_1B_1C_1, A_2B_2C_2$ и $A_3B_3C_3$ теребивления стеблей, а также плотно поджимались направляющими 5 к теребивному ремню 1.

Экспериментальные исследования проводили в Федеральном научном центре лубяных культур в г. Твери. Для их проведения было изготовлено три прямоочных теребивных аппарата с поперечными ленточно-дисковыми ручьями: ТЛН-1,9П (рис. 2, а), с верхним расположением труб рамы аппарата над теребивными шкивами и с шириной захвата секции 0,38 м; ТЛН-1,9М (рис. 2, б) и ТЛН-1,9К (рис. 2, с), с расположением труб рамы аппарата за теребивными шкивами и шириной захвата каждой теребивной секции 0,35 м и 0,31 м соответственно. Для их агрегатирования использовали мобильные энергетические средства (тракторы класса 6 и 14 кН). Скорости агрегатов в опытах составили 1,6–3,2 м/с, а скорость теребивных ремней была 2,7–2,8 м/с.

Для обоснования параметров и режимов работы опытных теребивных аппаратов в лабораторно-полевых экспериментах при агротехнической оценке определялись

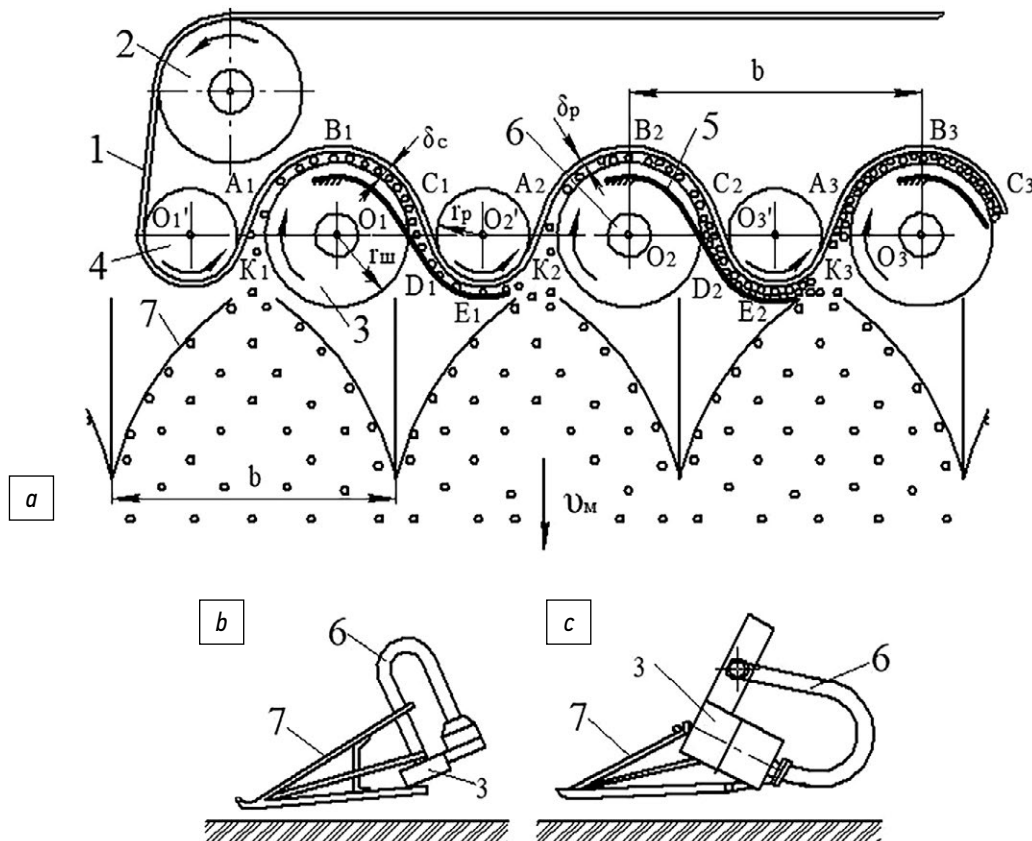


Рис. 1. Схемы к определению параметров теребивных секций аппарата с поперечными ленточно-дисковыми ручьями: фрагмент трех секций аппарата — а и расположение рамы над теребивными шкивами — б и под ними — с.

Fig. 1. Schemes for determining the parameters of pulling sections of the unit with transverse band-disc channels: a fragment of three sections of the apparatus — а and the location of the frame above the pulling pulleys — б and below them — с.



Рис. 2. Общий вид льнотеребильных машин: ТЛН-1,9П — *a*; ТЛН-1,9М — *b*; ТЛН-1,9К — *c*.
Fig. 2. General view of flax pulling machines: TLN-1.9P — *a*; TLN-1.9M — *b*; TLN-1.9K — *c*.

показатели качества выполнения ими технологического процесса с расстилом стеблей в ленту. При этом исходили из имеющихся инструкций по эксплуатации их разных конструкций и рекомендаций научно-исследовательских учреждений [14].

Объектом исследования были растения льна-долгунца, стебли, семенные коробочки, процесс тербления, треста, волокно длинное трепаное и опытные тербельные аппараты. Предметом исследования являлись закономерности изменения показателей качества работы разработанных тербельных аппаратов с поперечными ленточно-дисковыми ручьями.

Характеристика льна-долгунца в опытах была следующая: сорт — Тверской, в ранней желтой спелости; урожайность при нормированной влажности: льносоломы — 4,26 т/га, семян — 0,52 т/га; средняя общая длина стеблей 0,75 м; средний диаметр стеблей 1,32 мм; густота стеблестоя 1600 шт/м²; зона расположения семенных коробочек 0,23 м; влажность: стеблей — 63,3%; семенных коробочек — 44,8%. Уборку посевов в опытах проводили в соответствии с ГОСТом 337734-2016 [15], оценку льнотресты согласно ГОСТу 53143-2008 [16], льна трепаного по ГОСТу 53484-2009 [17].

В процессе исследований применялись методы общего и логического анализа, расчетно-конструктивный, теоретической механики. Использовали компьютерные программы, теорию вероятности и математическую статистику [18].

РЕЗУЛЬТАТЫ

Рассмотрим основные параметры тербельной секции аппарата с поперечными ручьями: ширину захвата секции, радиусов (диаметров) тербельного шкива и отклоняющего ролика; проведем анализ перемещения стеблей в зоне неподвижных направляющих, эквидистантных рабочей поверхности отклоняющего ролика, рассмотрим возможность тербления короткостебельного льна таким аппаратом.

Ширина захвата в тербельной секции устанавливается исходя из следующих предпосылок: секция с меньшей шириной захвата имеет преимущества перед секцией с большей шириной захвата, особенно в части уменьшения растянутости ленты льна. В то же время они значительно более материалоемки и трудоемки в изготовлении. Поэтому при выборе ширины захвата тербельной секции необходимо сочетать технологические факторы с конструкционными, исходя из того, чтобы при приемлемом (достаточном) качестве работы получить максимально возможную ширину захвата секции. Тербельные аппараты в отечественных и многих зарубежных льноуборочных машинах имеют ширину захвата, каждой тербельной секции 0,38 м; но они не вполне отвечают исходным требованиям (агротехническим) по показателям качества работы. Однако и в отечественных, и в зарубежных тербельных аппаратах этот параметр можно считать устоявшимся [6, 13].

Но аппарат с шириной захвата секции 0,31 м по показателям качества работы имеет преимущества перед аппаратами с шириной захвата секций 0,38 м [5, 6, 13]. Уменьшение ширины захвата секций наиболее целесообразно при уборке селекционно-семеноводческих посевов и в первичном семеноводстве, когда стоимость получаемой продукции велика, в сравнении со стоимостью продукции, полученной при уборке товарных посевов.

Для определения радиусов (диаметров) теребильного шкива и отклоняющего ролика обратимся к схеме на рис. 1.

В работах [3, 8, 13] приводятся расчетные значения длины S_p теребящего участка поперечного ручья при которой стебли полностью извлекаются из почвы. Для прямостоящих стеблей параметр S_p должен быть не менее 0,25 м [5, 13], а для полеглых посевов он составляет не менее 0,3 м [8]. Если центры шкивов 3 и роликов 4 (рис. 1, а) расположены на одной горизонтальной оси длина S_p равна длине дуги $A_1B_1C_1$ ($A_2B_2C_2$, $A_3B_3C_3$). Тогда $S_p = r_u \alpha_{uu}$, где r_u — радиус шкива, α_{uu} — угол в радианах, соответствующий дуге $A_1B_1C_1$, равный 180° . Но в зонах ручья (точки $A_1, C_1, A_2, C_2, A_3, C_3$) давление ремня 1 на стебли может несколько снизиться, вследствие уменьшения угла α_{uu} до α'_{uu} при изменении направления движения ремня, или смещения отклоняющего ролика вверх при изменении натяжения ремня, т.е. угол $\alpha_{uu} = K_\alpha \alpha'_{uu}$, где коэффициент K_α — равен 0,8–0,9. С учетом этого $S_p = r_u \alpha_{uu} = K_\alpha \alpha'_{uu} r_u$, откуда

$$r_u = S_p / K_\alpha \alpha_{uu}, \text{ м.} \quad (1)$$

Определим минимально возможную ширину захвата теребильной секции, обозначив ее b_{min} . Из рис. 1, а следует, что $b = O_1O_2 = O_1O'_2 + O'_2O_2 = r_u + \delta_c + \delta_p + r_p + \delta_c + \delta_c + r_u$. Тогда

$$b_{min} = 2(r_u + \delta_c + \delta_p + r_p), \text{ м,} \quad (2)$$

где r_p — радиус ролика, м; δ_c — толщина слоя стеблей в ручье, м; δ_p — толщина ремня, м. Минимально возможное значение ширины захвата секции $b_{min} = 2(r_u + \delta_{cmax} + \delta_p + r_{pmin})$, где δ_{cmax} — максимально возможная толщина слоя стеблей при работе

аппарата, м; r_{pmin} — минимально допустимый радиус ролика, м.

С учетом (1) и (2) имеем:

$$b_{min} = 2S_p / K_\alpha \alpha_{uu} + 2(\delta_{cmax} + \delta_p + r_{pmin}), \text{ м.} \quad (3)$$

По формуле (3) проведены расчеты минимальной ширины захвата b_{min} теребильной секции для уборки прямостоящего (при $S_p = 0,25$ м) и полеглого (при $S_p = 0,3$ м) льна, $\delta_{cmax} = 0,005$ м; $\delta_p = 0,01$ м; $K_\alpha = 0,85$; $\alpha_{uu} = \pi$ рад. Минимально допустимый радиус r_{pmin} ролика зависит от условий работы ремня и его допустимой деформации изгиба. Чем больше угол обхвата ролика ремнем, тем меньше долговечность ремня. При угле обхвата более 150° радиус ролика r_p не может быть менее 0,04 м [13]. Однако, чем меньше радиус роликов, тем хуже стебли будут прижиматься направляющими к ремню, что может привести к ухудшению выполнения технологического процесса аппаратом.

Учитывая изложенное, принимаем $r_{pmin} = 0,045$ м. Подставляя исходные данные в (3) получим $b_{min} \approx 0,35$ м.

Таким образом, на основании многолетней практики разработки, исследований и испытаний льнотеребильных аппаратов с поперечными ручьями установлено, что минимальная ширина захвата теребильных секций льнотеребильных аппаратов для уборки прямостоящего льна $b_{min} \approx 0,31$ м, а для уборки и прямостоящего, и полеглого льна 0,35 м.

Радиус ролика r_p находится из схемы на рис. 1 и равенства (3):

$$\begin{aligned} r_p &= b / 2 - r_u - \delta_c - \delta_p = \\ &= b_{min} / 2 - S_p / K_\alpha \alpha_{uu} - \delta_{cmax} - \delta_{pmin} \end{aligned} \quad (4)$$

По формулам (1) и (4) радиусы r_u и r_p определяются при $b_{min} = 0,35$ м; $S_p = 0,3$ м; $K_\alpha = 0,85$; $\alpha_{uu} = \pi$ рад; $\delta_{cmax} = 0,005$ м; $\delta_p = 0,01$ м имеем $r_u = 0,112$ м, а $r_{pmin} = 0,045$ м.

Консольно закрепленные изогнутые направляющие 5 (см. рис. 1, а) на участках D_1E_1 и D_2E_2 прижимают стебли к движущемуся ремню 1, которым и перемещаются к последующим теребильным секциям. Рассмотрим взаимодействие движущегося тела (ремня 1) с неподвижной поверхностью (направляющей 2)

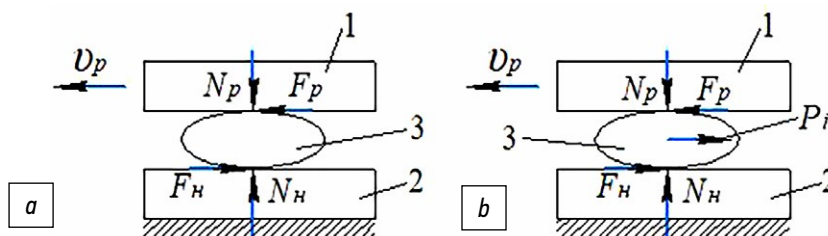


Рис. 3. Схемы для анализа процесса взаимодействия движущегося тела с неподвижной поверхностью через промежуточное тело.

Fig. 3. Diagrams for analyzing the process of interaction of a moving body with a stationary surface through an intermediate body.

через промежуточное тело (стебель 3). Схема этого явления показана на рис. 3, а, b.

Ранее исследовались такие взаимодействия для случаев, когда оба тела движутся [5, 7], а когда одно из тел неподвижное не рассматривались.

Ремень 1 (рис. 3, а) действует на стебель 3 с нормально направленной силой N_p , а направляющая 2 с нормально направленной силой N_n . Считаем, что стебель невесомый, тогда $N_p = N_n$. Двигаясь со скоростью v_p ремень 1 будет действовать на стебель 3 с силой трения F_p , а направляющая 2 будет действовать на стебель 3 с силой трения F_n , и он будет скользить по направляющей.

При $F_p = F_n$ стебель будет скользить по направляющей равномерно, а если $F_p > F_n$ стебель будет двигаться с ускорением за счет разницы этих сил трения. При скольжении стебля в местах контакта силы трения будут максимальные, т.е. $F_{p\ max}$ и $F_{n\ max}$, а условие движения стебля слева запишется следующим образом:

$$F_{p\ max} \geq F_{n\ max} \tag{5}$$

Сила $F_{p\ max} = f_p N_p$, где f_p — коэффициент трения скольжения ремня по стеблю. Сила $F_{n\ max} = f_n N_n$, где f_n — коэффициент трения скольжения направляющей по стеблю. С учетом этого движение стебля по направляющей под действием движущегося ремня будет при $F_p \geq F_n$. Так как $f_p = tg\varphi_p$, а $f_n = tg\varphi_n$, где φ_p — угол трения скольжения ремня по стеблю, а φ_n — угол трения скольжения направляющей по стеблю, то условия движения стебля по направляющей под действием ремня будут: $f_p \geq f_n$ и $\varphi_p \geq \varphi_n$.

При выполнении этих условий теревление заканчивается в зоне $A_1B_1C_1$, а в зоне D_1E_1 осуществляется лишь их транспортирование. Кроме того, стебли, движущиеся

из зоны $A_1B_1C_1$ будут подталкивать стебли, находящиеся в зоне D_1E_1 к выходу из нее.

Стебель не будет двигаться, а ремень будет скользить по нему, если

$$F_{p\ max} < F_{n\ max} \tag{6}$$

Неравенства $f_p < f_n$ и $\varphi_p < \varphi_n$ соответствуют этому случаю.

Если теревление стебля не заканчивается в зоне $A_1B_1C_1$ ручья и невытеревленный стебель попадает в зону D_1E_1 ручья, то на него еще действует сила P_i (рис. 3, b).

С учетом этого для перемещения стебля слева движущимся ремнем необходимо чтобы выполнялось неравенство

$$F_{p\ max} \geq P_i + F_{n\ max} \tag{7}$$

Так как $F_{p\ max} = f_p N_p = N_p tg\varphi_p$ и $F_{n\ max} = f_n N_n = N_n tg\varphi_n$, то при $N_p = N_n$ условие транспортирования стеблей слева будет:

$$f_p \geq f_n + (P_i / N_p) \tag{8}$$

$$\text{и } \varphi_p \geq \arctg [tg\varphi_n + (P_i / N_p)].$$

Для выполнения этих условий необходимо, чтобы коэффициент трения ремня по стеблю был значительно большим коэффициента трения направляющей по стеблю.

Проанализируем условия теревления стебля из почвы и его перемещения по направляющим.

На рис. 4 показан вид сбоку на невытеревленный стебель 3, зажатый между отклоняющим роликом 1 и двумя направляющими 2, выполненными из прутковой стали.

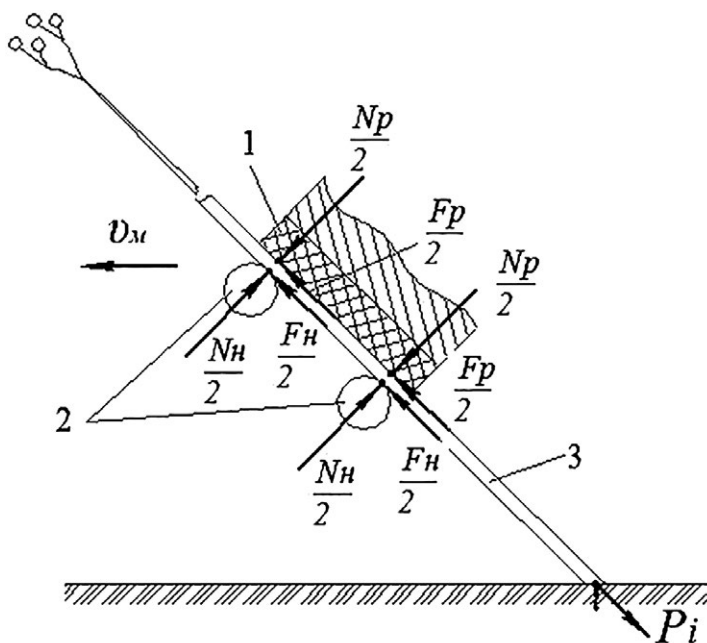


Рис. 4. Схема к определению условий довытеревливания стебля.

Fig. 4. The scheme for determining the conditions of stem pretreatment.

Направляющие подпружинены (на схеме не показано) и поджимают стебли к ремню. Для дотеребления стебля из почвы необходимо преодолеть силу P_i , с которой на него воздействует грунт. При движении аппарата со скоростью v_m ремень давит на стебель с силой N_p , а направляющие давят на него с силой N_n . Сумма появляющихся при этом сил трения F_p и F_n больше силы сопротивления P_i . Максимальное значение этих сил будет $F_{p\max}$ и $F_{n\max}$. Для вытеребления стебля из грунта и преодоления силы P_i необходимо чтобы выполнялось неравенство

$$F_{p\max} + F_{n\max} \geq P_i. \quad (9)$$

Сила $F_{p\max} = f_p N_p$, а сила $F_{n\max} = f_n N_n$; при $N_p = N_n$ имеем, $F_{p\max} + F_{n\max} = N_p (f_p + f_n)$. Подставляя это равенство в неравенство (9), имеем условие к вытереблению стеблей в зоне ролика:

$$N_p \geq P_i / (f_p + f_n). \quad (10)$$

Неравенства (8) и (10) характеризуют условия, при которых стебель, недовытеребленный в зоне шкива и находящийся в зоне ролика, будет вытереблен и перемещен в последующие ручки.

Современные теребильные машины должны обеспечивать уборку короткостебельного льна, который при неблагоприятных условиях (в засушливые годы) вырастает на льняных полях. Уборка такого льна представляет определенную трудность.

При подведении делителей стеблей в устье теребильного ручья E_i (рис. 5, *b, c, d*) основания крайних стеблей более удалены от его начала E_i , в сравнении с основанием центрального стебля.

Если будет обеспечено качественное теребление крайних стеблей без расплющивания семенных коробочек, то теребление центральных стеблей также будет обеспечено.

На рис. 5 показаны варианты зажатия между ремнем 1 и диском 2 крайних 3, 4 и центрального 5 стеблей при их тереблении в зависимости от высоты расположения устья E_i теребильного ручья. Вид сзади

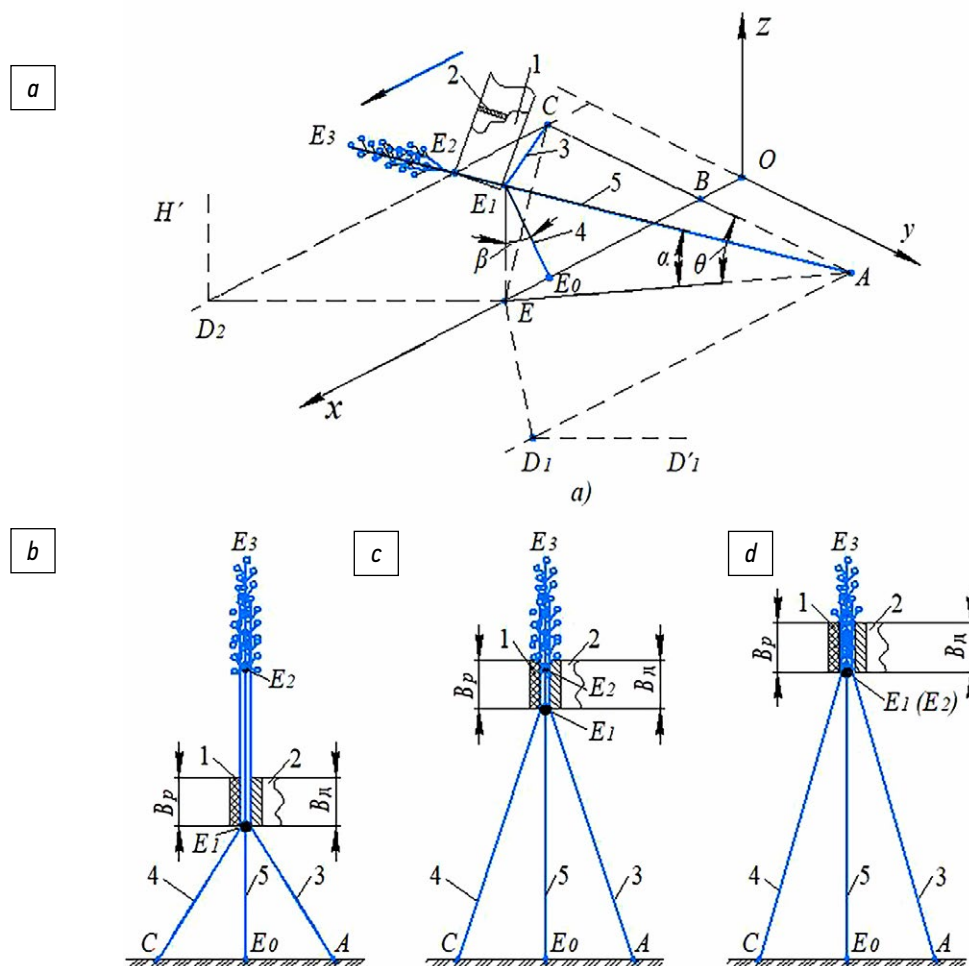


Рис. 5. Схемы к определению возможности теребления короткостебельного льна: *a*) положение растений и проекции стеблеподводов делителя D_1D_1E и ED_2H' на горизонтальную плоскость; *b, c, d*) элементарный пучок растений при воздействии на них делителей; 1 — теребильный ремень; 2 — теребильный диск; 3, 4 — крайние стебли; 5 — центральный стебель.

Fig. 5. Schemes for determining the possibility of pulling short-stemmed flax: *a*) the position of plants and the projection of the stem leads of the divider D_1D_1E and ED_2H' on a horizontal plane; *b, c, d*) an elementary bundle of plants when they are exposed to dividers; 1 — a pulling belt; 2 — a pulling disk; 3, 4 — outer stems; 5 — the central stem.

перпендикулярно плоскости AE_1C со стороны оси OZ крайних стеблей AE_1E_3 и CE_1E_3 , зажатых между ремнем 1 и диском 2, показаны на схеме (рис. 5, а).

При тереблении стеблей необходимо, чтобы их зажатие было ниже начала соцветия в точке E_2 (рис. 5, а, б), выше которой располагается зона E_2E_3 семенных коробочек. Недопустимым является частичное (рис. 5, с), либо полное (рис. 5, д) зажатие стеблей, приводящее к плющению семенных коробочек.

С учетом изложенного, условие зажатия стеблей для их теребления без расплющивания семенных коробочек будет [6]:

$$AE_1 + B_p \leq L_m, \quad (11)$$

где AE_1 — длина части стебля от корневой шейки до точки зажима E_1 , м (рис. 5, а); B_p — ширина теребильного ремня, м; L_m — техническая длина стебля (длина стебля от корневой шейки до начала соцветия), м.

Длина AE_1 стебля равна $Z_k / \sin \alpha$, где Z_k — высота теребления EE_1 , м; α — угол наклона крайнего стебля до горизонтали, град [6]. Тогда

$$AE_1 = \sqrt{(b / 2 \cos \theta)^2 + Z_k^2}, \quad (12)$$

где θ — угол между линиями AE и AB (рис. 5, а).

Условие теребления стеблей аппаратом без расплющивания семенных коробочек в неравенстве (11) будет

$$L_m \geq \sqrt{(b / 2 \cos \theta)^2 + Z_k^2} + B_p. \quad (13)$$

Минимально допустимая техническая длина $L_{m \min}$ стебля при которой он будет вытереблен из грунта:

$$L_{0 \min} = \sqrt{(b / 2 \cos \theta)^2 + Z_k^2} + B_p. \quad (14)$$

По литературным данным [19, 20] техническая длина L_m стебля меньше общей длины L_0 стебля на 5–15%. Обозначим отношение L_0 / L_m через ξ , тогда $L_0 = L_m \xi$, где $\xi = 1,05–1,15$. С учетом этого минимальная высота $L_{0 \min}$ стеблестоя льна, пригодного для механизированной уборки, будет:

$$L_{0 \min} = \xi \left[\sqrt{(b / 2 \cos \theta)^2 + Z_k^2} + B_p \right]. \quad (15)$$

Анализ полученной зависимости показал, что высота стеблестоя, пригодного для теребления, с уменьшением параметров B_p , b и Z_k уменьшается.

По формуле (15) проведены расчеты и определена минимальная высота $L_{0 \min}$ стеблестоя в зависимости от ширины захвата b теребильной секции при $\xi = 1,1$; $B_p = 0,1$ м; $b = 0,25$; $0,30$; $0,35$ и $0,4$ м. Полученные данные представлены графически на рис. 6. Расчеты показали, что минимальная высота $L_{0 \min}$ стеблестоя, пригодного для теребления при $Z_k = 0,06$ м и $b = 0,3$ м составляет $0,3–0,35$ м.

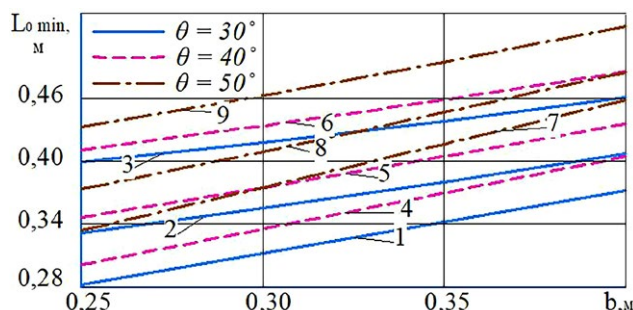


Рис. 6. Зависимость минимальной высоты $L_{0 \min}$ стеблестоя льна от ширины захвата b теребильной секции: θ — угол между линиями AE и AB (рис. 5, а); Z_k — высота теребления EE_1 ; 1 — $Z_k = 0,06$ м; 2 — $Z_k = 0,14$ м; 3 — $Z_k = 0,22$ м; 4 — $Z_k = 0,06$ м; 5 — $Z_k = 0,14$ м; 6 — $Z_k = 0,22$ м; 7 — $Z_k = 0,06$ м; 8 — $Z_k = 0,14$ м; 9 — $Z_k = 0,22$ м.

Fig. 6. Dependence of the minimum height $L_{0 \min}$ of the flax stem on the operating b of a pulling section: θ is the angle between lines AE and AB (fig. 5, a); Z_k is the height of pulling EE_1 ; 1 — $Z_k = 0,06$ m; 2 — $Z_k = 0,14$ m; 3 — $Z_k = 0,22$ m; 4 — $Z_k = 0,06$ m; 5 — $Z_k = 0,14$ m; 6 — $Z_k = 0,22$ m; 7 — $Z_k = 0,06$ m; 8 — $Z_k = 0,14$ m; 9 — $Z_k = 0,22$ m.

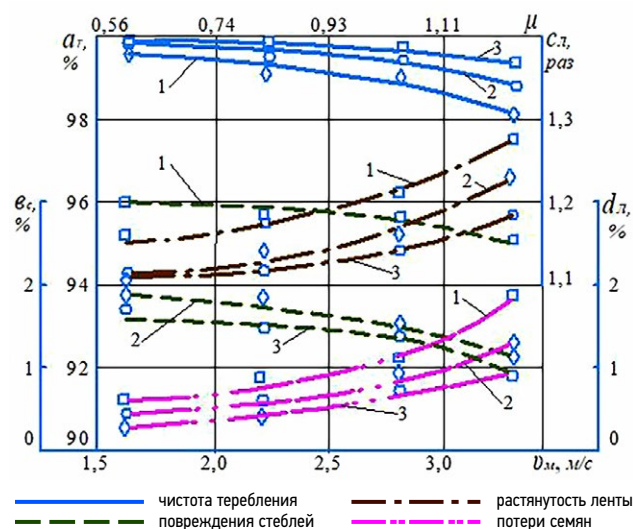


Рис. 7. Зависимость чистоты a_T теребления, потерь b_C семян, растянутости C_L ленты и повреждений d_L стеблей от скорости v_M агрегата у теребильных аппаратов машин: ТЛН-1,9Р — 1; ТЛН-1,9М — 2; ТЛН-1,9К — 3.

Fig. 7. The dependence of the pilling purity of a_T , the seed loss of b_C , the tape stretching C_L and stem damage d_L on the unit velocity v_M for the pulling units of the machines: 1 — TLN-1.9P; 2 — TLN-1.9M; 3 — TLN-1.9K.

Результаты лабораторно-полевых опытов по определению показателей качества выполнения технологического процесса опытными теребильными аппаратами при агротехнической оценке показаны на рис. 7.

Сравнительный анализ агротехнических показателей качества работы опытных теребильных аппаратов

показывает, что на агрофоне, соответствующем исходным (агротехническим) требованиям, они выполняют технологический процесс на уровне этих требований. У аппаратов ТЛН-1,9М и ТЛН-1,9К агротехнические показатели различаются незначительно. У аппарата ТЛН-1,9П эти показатели существенно ниже, и обуславливаются несовершенством его конструкции — расположением труб рамы над теребильными шкивами, что приводит к разделению технологических потоков растений льна и большей шириной захвата секций.

Поэтому при проектировании теребильных аппаратов такую компоновку рамы аппарата из конструкции необходимо исключить. Резервом для повышения показателей качества работы теребильных аппаратов является возможность их работы с оптимальным показателем скоростного режима $\mu = v_m / v_p$, равного 1, путем возможности изменения скорости v_p теребильного ремня [6, 8, 13].

Экспериментально получено также, что размещение рамы над теребильными шкивами снижает разрывную нагрузку стеблей в сравнении с ее размещением за теребильными шкивами.

В варианте I при $v_m = 1,6-3,2$ м/с средняя разрывная нагрузка стеблей была 22,5Н, а в вариантах II и III она составила 24Н и 24,5Н соответственно, то есть на 1,5Н и 2Н выше. Средний номер льнотресты в варианте I был 1,25 номера, а в вариантах II и III — 1,5 номера [16]. Полученные данные подтверждают снижение отрицательного воздействия аппаратов ТЛН-1,9М и ТЛН-1,9К на стебли в сравнении с аппаратом ТЛН-1,9П.

Технологической оценкой тресты подтверждено, что применение аппаратов ТЛН-1,9К и ТЛН-1,9М обеспечивает более высокие показатели выработки и номера длинного волокна (табл.) в сравнении с аппаратом ТЛН-1,9П.

Таблица. Результаты технологической оценки льнотресты в лабораторно-полевом опыте с теребильными аппаратами ТЛН-1,9П, ТЛН-1,9М и ТЛН-1,9К

Table. The results of the technological assessment of flax straw in laboratory and field testing with the TLN-1.9P, TLN-1.9M and TLN-1.9K pulling machines

Номер варианта	Вариант	Скорость агрегата v_m , м/с	Длинное волокно								
			$v=0,31$ м			$v=0,35$ м			$v=0,38$ м		
			Выход, %	Средний номер	Проценти-номер	Выход, %	Средний номер	Проценти-номер	Выход, %	Средний номер	Проценти-номер
I	ТЛН-1,9П	1,6							12,48	9,30	116,01
		3,2							12,69	9,33	118,40
II	ТЛН-1,9М	1,6				13,00	9,39	121,2			
		3,2				13,19	9,45	122,7			
III	ТЛН-1,9К	1,6	13,39	9,52	127,5						
		3,2	13,42	9,50	127,6						

На скоростях работы агрегата $v_m = 1,6-3,2$ м/с и ширине захвата теребильной секции v , равной 0,31...0,38 м, выработка длинного волокна (средняя) составила: в варианте I — 12,59%, в варианте II — 13,01%, а в варианте III — 13,41%, что на 0,42% и на 0,82% выше, чем в варианте I соответственно. Изменение показателя выработки длинного волокна по вариантам было выше, чем изменение показателя номера длинного волокна (табл.). В варианте I средний номер волокна составил 9,32 ед, в варианте II — 9,42 ед, в варианте III — 9,51 ед.

Следовательно технологическая оценка подтверждает наиболее высокий выход длинного волокна при уборке посевов теребильным аппаратом ТЛН-1,9К.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. В современных технологиях уборки льна основной технологической операцией является механизированное теребление растений. Для сохранения выращенного урожая необходимо постоянное совершенствование льнотеребильных аппаратов, конструкционные особенности рабочих органов которых могут оказывать механическое влияние на растения, приводящие к ухудшению количественных и качественных показателей работы.
2. Наиболее перспективным является льнотеребильный аппарат с поперечными ленточно-дисковыми ручьями. Настоящим анализом установлено, что в существующих аппаратах недостаточно обоснованы основные конструкционные параметры теребильных секций, не рассмотрены особенности их компоновки, мало изучен процесс перемещения стеблей в зоне неподвижных направляющих, не определены

- возможности уборки короткостебельного льна, требуется уточнение режимов их работы.
3. Получены теоретические зависимости, позволяющие определить радиус теребильного шкива (1), минимальную ширину захвата секций (3), радиус отклоняющего ролика (4), и установить условия (8) и (10), при которых стебель недовытеребленный в зоне шкива и находящийся в зоне отклоняющего ролика, будет вытереблен и перемещен по направляющим в последующий теребильный ручей.
 4. Установлена зависимость (15) минимальной высоты растений льна для его механизированного теребления от ширины захвата теребильной секции, ширины теребильного ремня и высоты теребления. При ширине захвата секции 0,31 м и высоте теребления 0,06 м можно производить теребление льна с длиной стеблей 0,3–0,35 м.
 5. Получены закономерности в виде квадратических парабол изменения агротехнических показателей качества работы от основных параметров и режимов работы аппарата с ленточно-дисковыми ручьями. Они отвечают агротехническим требованиям при скорости агрегата 1,6–3,2 м/с, скорости теребильных ремней 2,7–2,8 м/с, ширине захвата теребильных секций 0,31 м и 0,35 м. Технологическая оценка льнотресты подтверждает данные визуальной оценки повреждений стеблей.
 6. При компоновке теребильных аппаратов с поперечными ленточно-дисковыми ручьями для исключения разделения технологических потоков растений, поступающих из теребильных секций, элементы конструкции рамы следует располагать за теребильными шкивами, применять технические решения, обеспечивающие работу аппарата с кинематическим режимом, равным единице, и ширину захвата секций 0,31 м для уборки селекционно-семеноводческих посевов и 0,35 м для товарных посевов.

ДОПОЛНИТЕЛЬНО

Вклад авторов. Р.А. Ростовцев — формулирование концепции решения, постановка задачи, анализ результатов исследования; М.М. Ковалев — научное

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Новиков Э.В., Басова Н.В., Безбабченко А.В. Лубяные культуры в России и за рубежом: состояние, проблемы и перспективы их переработки // Технические культуры. Научный сельскохозяйственный журнал. 2021. № 1. С. 30–40. doi: 10.54016/SVITOK.2021.1.1.005
2. Ростовцев Р.А., Черников В.Г., Ущаповский И.В., и др. Основные проблемы научного обеспечения льноводства // Сельскохозяйственные машины и технологии. 2020. Т. 14, № 3. С. 45–52. doi: 10.22314/2073-7599-2020-14-3-45-52

руководство, подготовка начального текста с последующей доработкой, проведение критического анализа исследований, визуализация, утверждение финальной версии; Г.А. Перов — определение методологии исследования, сбор и анализ материалов по теме исследования, проведение исследований, доработка текста; С.В. Просолов — подготовка и анализ литературных данных, проведение исследований и обработка экспериментальных данных. Авторы подтверждают соответствие своего авторства международным критериям *ICMJE* (все авторы внесли существенный вклад в разработку концепции, проведение исследования и подготовку статьи), прочли и одобрили финальную версию перед публикацией.

Конфликт интересов. Авторы декларируют отсутствие явных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

Источник финансирования. Работа выполнена при поддержке Минобрнауки России в рамках Государственного задания ФГБНУ ФНЦ ЛК (№ FGSS-2022-0005).

ADDITIONAL INFORMATION

Authors' contribution: R.A. Rostovtsev — formulation of the solution concept, problem statement, analysis of research results; M.M. Kovalev — scientific guidance, preparation of the initial text with subsequent revision, conducting a critical analysis of research, visualization, approval of the final version; G.A. Perov — definition of research methodology, collection and analysis of materials on research topic, research, revision of the text; S.V. Prosolov — preparation and analysis of literary data, research and processing of experimental data. All authors made a substantial contribution to the conception of the work, acquisition, analysis, interpretation of data for the work, drafting and revising the work, final approval of the version to be published and agree to be accountable for all aspects of the work.

Competing interests. The authors declare that they have no competing interests.

Funding source. This work was supported by the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation within the framework of the State Assignment of the Federal Scientific Center for Bast Crops (No. FGSS-2022-0005).

3. Лачуга Ю.Ф., Ковалев М.М., Перов Г.А., и др. Методика определения закономерности растяжения группы стеблей растительных материалов // Российская сельскохозяйственная наука. 2021. № 1. С. 67–71. doi: 10.31857/S2500262721010166
4. Поздняков Б.А. Актуальные направления совершенствования системы машин для уборки льна-долгунца // Техника и оборудование для села. 2019. № 8. С. 2–6. doi: 10.33267/2072-9642-2019-8-2-6
5. Ковалев М.М. Технологии и машины для комбинированной уборки льна-долгунца : дис. ... д-ра техн. наук. М., 2010.

6. Ростовцев Р.А., Ковалев М.М., Перов Г.А., и др. Исследование инновационного процесса теребления стеблей в аппаратах с поперечными ручьями // Инженерные технологии и системы. 2022. Т. 32, № 3. С. 355–372. doi: 10.15507/2658-4123.032.202203.355-372
7. Хайлис Г.А., Ковалев М.М. Теория льнотеребильных аппаратов с поперечными ручьями. Киев: УААН, 1999.
8. Хайлис Г.А. Теория льноуборочных машин. Москва: Росинформагротех, 2011. Дата обращения: 09.02.2023. Режим доступа: http://www.cnsnb.ru/Vexhib/volk/12_11236.pdf
9. Патент РФ № 2086090 / 10.08.97. Бюл. №22. Ковалев М.М., Броцман А.И., Черников В.Г., и др. Льнотеребилка. Дата обращения: 09.02.2023. Режим доступа: https://patents.s3.yandex.net/RU2086090C1_19970810.pdf
10. Патент РФ №2321203 / 10.04.08. Бюл. №10. Ковалев М.М., Хайлис Г.А., Просолов С.В., и др. Льнотеребилка. Дата обращения: 09.02.2023. Режим доступа: https://patents.s3.yandex.net/RU2321203C1_20080410.pdf
11. Колчина Л.М., Ковалев М.М. Опыт освоения прогрессивных технологий и технических средств для уборки и первичной переработки льна-долгунца: науч. аналит. обзор. М.: Росинформагротех, 2008.
12. Юхимчук С.Ф. Обґрунтування параметрів і дослідження роботи льноуборочних апаратів з поперечними рівчакми: дис. ... канд. техн.наук. Луцк, 1998. Дата обращения: 14.02.2023. Режим доступа: <https://viewer.rsl.ru/ru/rsl01000785285?page=1&rotate=0&theme=white>.
13. Хайлис Г.А., Быков Н.Н., Бухаркин В.Н., и др. Льноуборочные машины. М.: Машиностроение, 1985.
14. Ковалев М.М. Делители машин для уборки лубяных культур (конструкция, теория и расчет): монография. М.: Росинформагротех, 2014.
15. ГОСТ 33734-2016. Техника сельскохозяйственная. Комбайны и машины для уборки льна. Методы испытаний. М.: Стандартинформ, 2017. Дата обращения: 14.02.2023. Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/1200144756>
16. ГОСТ 53143-2008. Треста льняная. Требования при заготовках. М.: Стандартинформ, 2009. Дата обращения: 14.02.2023. Режим доступа: <https://meganorm.ru/Index2/1/4293828/4293828732.htm>
17. ГОСТ 53484-2009. Лен трепаный. Технические условия. М.: Стандартинформ, 2010. Дата обращения: 14.02.2023. Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/1200076321>
18. Кулаичев А.П. Методы и средства комплексного статистического анализа данных. М.: ИНФРА-М, 2022.
19. Черников В.Г. Статистические характеристики высоты стеблестоя и зоны расположения семенных коробочек в нем // Достижения науки и техники АПК. 2006. № 4. С. 18–19.
20. Ковалев Н.Г., Хайлис Г.А., Ковалев М.М. Сельскохозяйственные материалы (виды, состав, свойства). М.: Родник, Аграрная наука, 1998.
21. Ковалев М.М., Перов Г.А., Просолов С.В., и др. Исследование работы аппарата с поперечными ручьями на тереблении полеглого льна // Агротехника и энергообеспечение. 2019. № 1. С. 13–20.

REFERENCES

1. Novikov EV, Basova NV, Bezbabchenko AV. Bast crops in Russia and abroad: state, problems and prospects for their processing. *Tekhnicheskie kultury. Nauchnyy sel'skokhozyaystvennyy zhurnal*. 2021;1:30–40. (In Russ). doi: 10.54016/SVITOK.2021.1.1.005
2. Rostovtsev RA, Chernikov VG, Ushchapovskiy IV, et al. Osnovnye problemy nauchnogo obespecheniya Inovodstva. *Sel'skokhozyaystvennyye mashiny i tekhnologii*. 2020;14(3):45–52. (In Russ). doi: 10.22314/2073-7599-2020-14-3-45-52
3. Lachuga YuF, Kovalev MM, Perov GA, et al. Method for determining the patterns of stretching of a group of stems of plant materials. *Rossiyskaya sel'skokhozyaystvennaya nauka*. 2021;1:67–71. (In Russ). doi: 10.31857/S2500262721010166
4. Pozdnyakov BA. Actual directions for improving the system of machines for harvesting fiber flax. *Tekhnika i oborudovanie dlya sela*. 2019;8:2–6. (In Russ). doi: 10.33267/2072-9642-2019-8-2-6
5. Kovalev MM. Tekhnologii i mashiny dlya kombinirovannoy uborki lna-dolguntsa [dissertation] Moscow; 2010. (In Russ).
6. Rostovtsev RA, Kovalev MM, Perov GA, et al. Research of the innovative process of stem pulling in devices with transverse streams. *Inzhenernye tekhnologii i sistemy*. 2022;32(3):355–372. (In Russ). doi: 10.15507/2658-4123.032.202203.355-372
7. Khailis GA, Kovalev MM. *Theory of flax pulling apparatuses with transverse streams*. Kyiv: UAAN; 1999. (In Russ).
8. Khailis GA. *The theory of flax harvesters*. Moscow: Rosinformagrotekh, 2011. (In Russ). Accessed: 09.02.2023. Available from: http://www.cnsnb.ru/Vexhib/volk/12_11236.pdf
9. Patent RUS № 2086090 / 10.08.97. Byul. № 22. Kovalev M.M., Brotsman A.I., Chernikov V.G., i dr. Lnoterebilka. (In Russ). Accessed: 09.02.2023. Available from: https://patents.s3.yandex.net/RU2086090C1_19970810.pdf
10. Patent RUS №2321203 / 10.04.08. Byul. №10. Kovalev M.M., Khailis G.A., Prosolov S.V., et al. Lnoterebilka. (In Russ). Accessed: 09.02.2023. Available from: https://patents.s3.yandex.net/RU2321203C1_20080410.pdf
11. Kolchina LM, Kovalev MM. *Experience in the development of progressive technologies and technical means for harvesting and primary processing of fiber flax: scientific. analyte review*. Moscow: Rosinformagrotekh; 2008.
12. Yukhimchuk SF. Obgruntuвання параметрів і дослідження роботи льноуборочних апаратів з поперечними рівчакми [dissertation] Lutsk; 1998. (In Russ). Accessed: 09.02.2023. Available from: <https://viewer.rsl.ru/ru/rsl01000785285?page=1&rotate=0&theme=white>.
13. Khailis GA, Bykov NN, Bukharkin VN, et al. *Flax harvesters*. Moscow: Mashinostroenie; 1985. (In Russ).
14. Kovalev MM. *Dividers of machines for harvesting bast crops (design, theory and calculation): monograph*. Moscow: Rosinformagrotekh, 2014. (In Russ).
15. GOST 33734-2016. Tekhnika sel'skokhozyaystvennaya. Kombayny i mashiny dlya uborki lna. Metody ispytaniy. Moscow: Standartinform; 2017. (In Russ). Accessed: 09.02.2023. Available from: <https://docs.cntd.ru/document/1200144756>
16. GOST 53143-2008. Tresta lnyanaya. Trebovaniya pri zagotovkakh. M.: Standartinform; 2009. (In Russ). Accessed: 09.02.2023. Available from: <https://meganorm.ru/Index2/1/4293828/4293828732.htm>

17. GOST 53484-2009. Len trepanyy. Tekhnicheskie usloviya. M.: Standartinform; 2010. (In Russ). Accessed: 09.02.2023. Available from: <https://docs.cntd.ru/document/1200076321>
18. Kulaichev AP. *Methods and means of complex statistical data analysis*. Moscow: INFRA-M; 2022. (In Russ).
19. Chernikov VG. Statistical characteristics of the height of the stem and the area where the seed pods are located in it. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK*. 2006;4:18–19. (In Russ).

ОБ АВТОРАХ

*** Ковалев Михаил Михайлович,**

д-р техн. наук,
главный научный сотрудник лаборатории Агроинженерных технологий;
адрес: Российская Федерация, 170041, Тверь,
Комсомольский пр-т, д. 17/56;
ORCID: 0000-0003-2424-4205;
eLibrary SPIN: 6189-8619;
e-mail: m.m.kovalev@mail.ru

Ростовцев Роман Анатольевич,

член-корреспондент РАН, профессор, д.т.н.,
директор;
ORCID: 0000-0003-0368-1035;
eLibrary SPIN: 9513-1220;
e-mail: info@fncl.ru

Перов Геннадий Анатольевич,

канд. техн. наук,
ведущий научный сотрудник лаборатории Агроинженерных технологий;
ORCID: 0000-0002-5830-6817;
eLibrary SPIN: 4478-4991;
e-mail: vniiml2@mail.ru

Просолов Сергей Викторович,

младший научный сотрудник лаборатории Агроинженерных технологий;
ORCID: 0000-0002-5879-905X;
eLibrary SPIN: 9704-6380;
e-mail: tver.dep.sela@rambler.ru

* Автор, ответственный за переписку

20. Kovalev NG, Khailis GA, Kovalev MM. *Agricultural materials (types, composition, properties)*. Moscow: Rodnik, Agrarnaya nauka; 1998. (In Russ).

21. Kovalev MM, Perov GA, Prosolov SV, et al. Investigation of the operation of the apparatus with transverse streams on the pulling of laid flax. *Agrotehnika i energoobespechenie*. 2019;1:13–20. (In Russ).

AUTHORS' INFO

*** Mikhail M. Kovalev,**

Dr. Sci. (Tech.),
Chief Researcher of the Agroengineering Technologies Laboratory;
address: 17/56 Komsomolskiy Avenue, 170041 Tver,
Russian Federation;
ORCID: 0000-0003-2424-4205;
eLibrary SPIN: 6189-8619;
e-mail: m.m.kovalev@mail.ru

Roman A. Rostovtsev,

Corresponding Member of RAS, Professor, Dr. Sci. (Tech.),
Director;
ORCID: 0000-0003-0368-1035;
eLibrary SPIN: 9513-1220;
e-mail: info@fncl.ru

Gennady A. Perov,

Cand. Sci (Tech.),
Leading Researcher of the Agroengineering Technologies Laboratory;;
ORCID: 0000-0002-5830-6817;
eLibrary SPIN: 4478-4991;
e-mail: vniiml2@mail.ru

Sergey V. Prosolov,

Junior Researcher of the Agroengineering Technologies Laboratory;
ORCID: 0000-0002-5879-905X;
eLibrary SPIN: 9704-6380;
e-mail: tver.dep.sela@rambler.ru

* Corresponding author