




## Исследование инновационного процесса теребления стеблей в аппаратах с поперечными ручьями

Р. А. Ростовцев, М. М. Ковалев , Г. А. Перов, С. В. Просолов  
Федеральный научный центр лубяных культур  
(г. Тверь, Российская Федерация)

 [m.kovalev@fnclk.ru](mailto:m.kovalev@fnclk.ru)

### Аннотация

**Введение.** При уборке льна-долгунца рабочие органы активно взаимодействуют с растениями. Для льнотеребильного аппарата с поперечными ленточно-дисковыми ручьями характерно разделение технологических потоков растений, приводящее к потерям семян и повреждениям стеблей. Цель работы – теоретическое и экспериментальное обоснование изменений конструкции теребильного аппарата с поперечными ленточно-дисковыми ручьями за счет исключения разделения технологических потоков растений при их тереблении.

**Материалы и методы.** Экспериментальные исследования по обоснованию параметров и режимов работы теребильного аппарата проводили по имеющимся и разработанным методикам, а оценку льнопродукции – по действующим ГОСТам. Определялось влияние фаз спелости и урожайности льна, а также типа теребильного аппарата на показатели разделения технологических потоков растений и потерь семян. Устанавливали влияние типа теребильного аппарата, ширины захвата теребильной секции и скорости агрегата на показатели переработки льнотреста.

**Результаты исследования.** Получена зависимость для определения комлевой растянутости стеблей с учетом сцепления семенными коробочками. Конструкцию модернизированного теребильного аппарата использовали для того, чтобы оценить, как уменьшение растянутости и устранение разделения технологических потоков растений при тереблении влияет на снижение потерь семян и повышение выхода длинного волокна. В усовершенствованной машине элементы рамы расположены за теребильным аппаратом. Благодаря модернизации теребильного аппарата льнотреста имела более высокие показатели качества: 1,5 номера у ТЛН-1,9М и 1,25 номера у ТЛН-1,9П.

**Обсуждение и заключение.** Модернизированный теребильный аппарат ТЛН-1,9М при уборке посевов в фазе ранней желтой спелости, по сравнению с аппаратом ТЛН-1,9П, позволяет снизить потери семян на 1,4–2,0 %, на 1,3 % возрастает выработка длинного волокна и увеличивается на 0,45 его номер.

**Ключевые слова:** лен-долгунец, растения, стебли, теребильный ручей, комлевая растянутость, коробочки, семена, треста, длинное волокно

**Финансирование:** работа выполнена при поддержке Минобрнауки России в рамках государственного задания ФГБНУ ФНЦ ЛК (№ FGSS-2022-0005).

**Конфликт интересов:** авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

© Ростовцев Р. А., Ковалев М. М., Перов Г. А., Просолов С. В., 2022



Контент доступен по лицензии Creative Commons Attribution 4.0 License.  
This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 License.

*Для цитирования:* Исследование инновационного процесса теребления стеблей в аппаратах с поперечными ручьями / Р. А. Ростовцев [и др.] // Инженерные технологии и системы. 2022. Т. 32, № 3. С. 355–372. doi: <https://doi.org/10.15507/2658-4123.032.202203.355-372>

Original article

## Studying the Innovative Flax Pulling Process in Apparatuses with Transverse Pulling Channels

R. A. Rostovtsev, M. M. Kovalev✉, G. A. Perov, S. V. Prosolov  
*Federal Scientific Center for Bast Crops  
(Tver, Russian Federation)*

✉ [m.kovalev@fncl.ru](mailto:m.kovalev@fncl.ru)

### Abstract

**Introduction.** During fiber-flax harvesting, the working tools of pulling units actively interact with the flax plants. The flax pulling unit with transverse tape-disc pulling channels is characterized by the separation of technological plant flows resulting in the loss of seeds and damage to the flax stems. The aim of the work is the theoretical and experimental substantiation of changes in the design of the pulling units with transverse tape-disc pulling channels by eliminating the separation of technological plant flows during flax pulling.

**Materials and Methods.** Experimental studies to substantiate the parameters and modes of the pulling unit operation were carried out according to available and newly developed methodologies, while the evaluation of flax products was carried out according to current GOSTs (Russian National standards). There was determined the influence of the flax ripeness stages, flax yield, and a type of pulling unit on the indicators of separation of technological plant flows and on seed losses. The influence of the pulling unit type, operating width of the pulling section, and the pulling unit speed on the indicators of processing flax straw was also established.

**Results.** There was obtained the dependence for determining the flax stem base elongation, taking into account the seed boll cohesion. The design of the modernized flax pulling unit was used to assess the effect of reducing the flax stem base elongation and eliminating the separation of technological plant flows during pulling on the reduction of seed loss and increase in the yield of flax longs. In the improved flax harvester, the frame elements are positioned behind the pulling unit. Thanks to the modernization of the pulling unit, the flax straw was of higher quality: 1.5 numbers at THLN-1.9M and 1.25 numbers at THLN-1.9P.

**Discussion and Conclusion.** The modernized pulling unit THLN-1.9M during flax harvesting in the stage of early yellow ripeness, compared with the unit THLN-1.9P, can reduce seed loss by 1.4–2.0%, increased output of long fiber by 1.3%. The production of flax longs increases to 0.45 of its number.

**Keywords:** long-fiber flax, plants, stems, pulling channel, stem extension, bolls, seeds, flax straw, long fiber

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

**Conflict of interest:** The authors declare no conflict of interest.

**For citation:** Rostovtsev R.A., Kovalev M.M., Perov G.A., Prosolov S.V. Studying the Innovative Flax Pulling Process in Apparatuses with Transverse Pulling Channels. *Engineering Technologies and Systems*. 2022;32(3):355–372. doi: <https://doi.org/10.15507/2658-4123.032.202203.355-372>

## Введение

Потребность развития льняной отрасли АПК России обуславливается необходимостью производства сырья для текстильных предприятий. Основные задачи льняной отрасли – поставки качественного длинного волокна и производство семенного материала. Выполнение этих задач возможно за счет увеличения сборов льнопродукции и путем повышения ее качества [1–3]. Механизмы и рабочие органы льноуборочных машин при выполнении технологических процессов активно взаимодействуют с растениями льна-долгунца (далее льна) [4–6]. При этом растения льна видоизменяются: растягиваются, сжимаются, скручиваются и др. [7; 8]. Это может негативно сказаться на сборах льнопродукции и качестве длинного волокна и семян [9]. Для уборки льна применяют пять типов технологий: сноповая, комбайновая, раздельная, комбинированная и дифференцированная. Они направлены на производство высококачественной волокнистой продукции или получение посевных семян.

Основная технологическая операция – теробление льна. Механизированное теробление льна на больших площадях обеспечивает получение семенной и волокнистой доли урожая в ограниченные сроки. Следовательно, улучшение рабочих органов необходимо для сохранения всего урожая на любом этапе уборки [10; 11]. Теробление льна оказывает влияние на качественные и количественные параметры урожая [12; 13]. Однако особенности конструкции рабочих органов, которые используются для теробления в российских и зарубежных льно-теробилках и льнокомбайнах, могут

оказывать механическое влияние на стебли, что заметно ухудшает как количественные, так и качественные показатели [4; 5].

Цель работы – теоретическое и экспериментальное обоснование изменений конструкции теробильного аппарата с поперечными ленточно-дисковыми ручьями за счет исключения разделения технологических потоков растений при их тероблении.

## Обзор литературы

Теробление – технологическая операция по извлечению созревших растений из земли вместе с корнями при уборке сельхозкультур<sup>1</sup>. Применяется в технологиях производства лубяных культур, в селекционно-садоводческом процессе и др. В льноводстве для теробления растений используются многочисленные методы и разнообразные устройства. Достоинства и недостатки каждого из известных теробильных аппаратов позволяют определить цель использования технических средств при уборке культур и учесть особенности технологического процесса<sup>2</sup> [2].

Основное применение при уборке льна-долгунца получили теробильные аппараты непрерывного действия, включающие теробильные ручьи (секции), спереди оборудованные делителями, выполненными в форме многогранных клиньев, и выводящие расстилочные устройства [9; 12].

Конструкция теробильных ручьев оказывает определяющее влияние на качество и надежность работы аппарата. Теробильные ручьи состоят из прижатых друг к другу бесконечных ремней (ленточно-роликовые различной формы) или из ремней и обрешиненных дисков (ленточно-дисковые), между которыми зажимаются стебли и выдергиваются из

<sup>1</sup> ГОСТ Р 52784-2007. Лен-долгунец. Термины и определения. М., 2007.

<sup>2</sup> Ковалев М. М. Технологии и машины для комбинированной уборки льна-долгунца : дис. ... д-ра. техн. наук. М., 2010. 499 с.

почвы (рис. 1)<sup>3</sup>. Существует несколько видов этих конструкций:

1. С дугообразным ленточно-роликовым ручьем (рис. 1а). Достоинства: большая зона тербления, обеспечивающая тербление разного по степени полегания льна. Недостатки: низкая надежность технологического процесса, высокая энергоемкость, ограничение по влажности льна, скольжение ремней относительно друг друга на криволинейных участках ручья, повреждения стеблей.

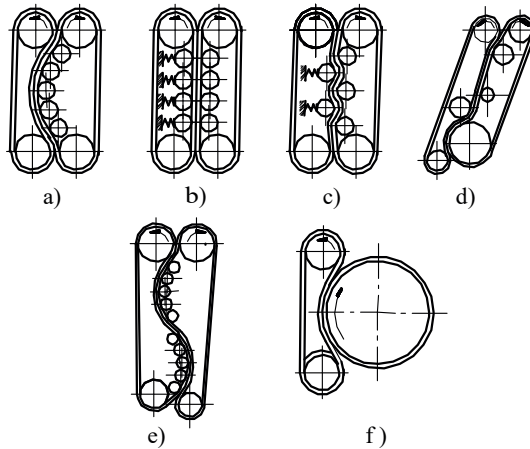
2. С прямолинейным ленточно-роликовым ручьем (рис. 1б). Достоинства: малая энергоемкость, большая зона и симметричный процесс тербления, минимальная растянутость стеблей в ленте. Недостатки: неравномерность распределения давления в ручье, сложность конструкции.

3. С волнообразным ленточно-роликовым ручьем (рис. 1с). Достоинства: большая зона и симметричный процесс тербления растений, надежность технологического процесса, минимальная растянутость стеблей в ленте.

Недостатки: скольжение ремней относительно друг друга на криволинейных участках ручья, повреждение стеблей, износ ремней, большая энергоемкость и сложность конструкции.

4. С криволинейным ленточно-роликовым ручьем (рис. 1д). Достоинства: надежность технологического процесса, небольшая энергоемкость и простота конструкции. Недостатки: неравномерность давления по длине ручья, скольжение ремней относительно друг друга на криволинейных участках ручья, повреждение стеблей и износ ремней, несимметричность процесса тербления.

5. С синусоидальным ленточно-роликовым ручьем (рис. 1е). Достоинства: возможность установки требуемого давления в зоне тербления, и в зоне транспортирования стеблей, небольшая энергоемкость. Недостатки: скольжение ремней относительно друг друга на дугообразных участках ручья, повреждения стеблей, износ ремней, сложность конструкции.



Р и с. 1. Схемы тербильных ручьев льноуборочных машин

F i g. 1. Schemes of pulling channels of flax harvesters

<sup>3</sup> Хайлис Г. А. Теория льноуборочных машин. М. : ФГБНУ «Росинформагротех», 2011. 332 с. URL: [http://www.cnsnb.ru/Vexhib/volk/12\\_11236.pdf](http://www.cnsnb.ru/Vexhib/volk/12_11236.pdf) (дата обращения: 04.01.2022) ; Дударев И. М. Теоретичні основи модернізації машин для виробництва льноу : монографія. Луцьк : Ред.-вид. відділ Луцького НТУ, 2015. 268 с. URL: <https://www.researchgate.net/publication/338937093> (дата обращения: 10.03.2021).

6. С ленточно-дисковым ручьем постоянной кривизны (рис. 1f). Достоинства: равномерное распределение давления по длине ручья, отсутствие скольжения ремня по диску, простота конструкции, небольшая мощность для привода. Недостатки: несимметричный процесс теребления растений, надлом стеблей в точке первоначального зажима в ручье.

Апробировано кошение льна-долгунца вместо теребления для снижения затрат на приобретение специализированной техники и ускорения уборочных процессов. Получен отрицательный результат: потери дезорганизованного волокна увеличились, материал не удалось использовать для получения экологически чистых льняных тканей<sup>4</sup> [8; 14].

Ленточно-дисковый теребильный ручей, характеризующийся наиболее простой конструкцией, высокой надежностью технологического процесса и малой мощностью для привода, является наиболее перспективным и эффективным. Он широко используется в большинстве льноуборочных машин: ТЛН-1,5А, ТЛН-1,9П, ТЛН-1,9М<sup>5</sup>.

Недостатком конструкции этих аппаратов является повышенный уровень потерь семян и повреждений стеблей (излом и чрезмерное расплющивание при разделении их технологических потоков). Это обуславливает необходимость ее совершенствования<sup>6</sup> [9].

### Материалы и методы

В процессе исследования применяли методы общего и логического анализа, расчетно-конструктивный,

теоретической механики. Использовали компьютерные программы, теорию вероятности и математическую статистику<sup>7</sup> [4; 5].

Для достижения поставленной цели необходимо понизить силовое воздействие стеблеподводов делителя на подводимые к теребильным ручьям растения льна и устранить разделение технологических потоков при тереблении и транспортировке растений. Это позволит повысить качество и надежность работы.

Эксперименты проводили в Федеральном научном центре лубяных культур (г. Тверь). Было изготовлено три льнотеребильных аппарата с поперечными ленточно-дисковыми ручьями: ТЛН-1,9П, ТЛН-1,9М (рис. 2, 3) и ТЛН-1,9К (рис. 4). Их агрегатировали с мобильным энергосредством (трактор Т-25А1). Скорость агрегата в опытах была 1,6–3,0 м/с. Рисунок 2 был использован в одной из предыдущих работ М. М. Ковалева<sup>8</sup>.

Технологические потоки в этих аппаратах движутся в поперечном к движению агрегата направлении и поступают на расстил. При определении влияния параметров и режимов работы льнотеребильных аппаратов на показатели качества получаемой продукции исходили из имеющихся инструкций по эксплуатации разных конструкций. При этом объектами исследования стали растения льна-долгунца, стебли, семенные коробочки, семена, процесс теребления, треста, волокно длинное трепанное и опытные теребильные аппараты.

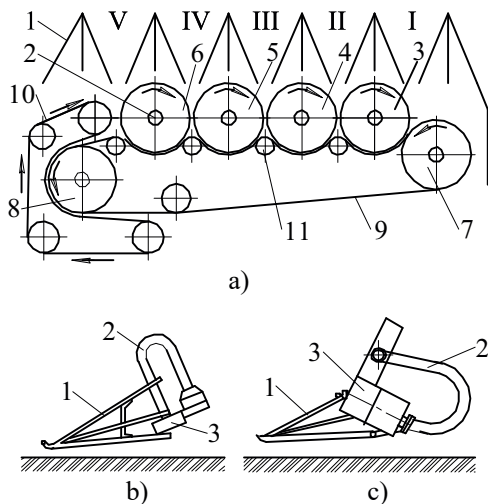
<sup>4</sup> Flax Fiber: Potential for a New Crop in the Southeast / J. A. Foulkp [et al.] // Trends in New Crops and New Uses ; Ed. by J. Janick, A. Whipkey. Alexandria : ASHS Press, 2002. P. 361–370. URL: <https://hort.purdue.edu/newcrop/ncnu02/v5-361.html> (дата обращения: 04.01.2022).

<sup>5</sup> Ковалев М. М. Технологии и машины для комбинированной уборки льна-долгунца.

<sup>6</sup> Хайлис Г. А. Теория льноуборочных машин ; Дударев И. М. Теоретичні основи модернізації машин...

<sup>7</sup> Горлач Б. А. Теория вероятностей и математическая статистика : учебн. пособие для вузов. СПб. : Лань, 2021. 320. с. URL: <https://e.lanbook.com/book/168478> (дата обращения: 05.03.2022) ; Кулаичев А. П. Методы и средства комплексного статистического анализа данных : учебн. пособие. 5-е изд., перераб. и доп. М. : ИНФРА-М, 2022. 484 с. URL: <https://znanium.com/catalog/product/1815604> (дата обращения: 17.03.2022).

<sup>8</sup> Ковалев М. М. Технологии и машины для комбинированной уборки льна-долгунца.



Р и с. 2. а) Схема льнотеребильных аппаратов с поперечными ленточно-дисковыми ручьями; б) расположение труб рам над теребильными шкивами у ТЛН-1,9П; в) расположение труб рам за теребильными шкивами у ТЛН-1,9М; 1 – делители; 2 – трубы рамы; 3–6 – обрезиненные теребильные шкивы; 7 – ведущий шкив; 8 – ведомый (натяжной) шкив; 9 – ведущий бесконечный ремень; 10 – ведомый выводящий ремень; 11 – нажимные ролики; I–V – зоны теребильных секций

F i g. 2. а) Scheme of flax pulling units with transverse tape-disc pulling channels; б) arrangement of frame pipes above pulling pulleys in THLN-1.9P; в) arrangement of frame pipes behind pulling pulleys in THLN-1.9M; 1 – dividers; 2 – frame pipes; 3–6 – rubberized pulling pulleys; 7 – driving pulley; 8 – driven (tensioning) pulley; 9 – driving endless belt; 10 – driven output belt; 11 – pressure rollers; I–V – pulling section areas



Р и с. 3. Общий вид льнотеребильной машины ТЛН-1,9М с шириной захвата 0,38 м каждой теребильной секции

F i g. 3. General view of the flax pulling machine THLN-1.9M with each pulling section operating width of 0.38 m



Р и с. 4. Общий вид льнотеребильной машины ТЛН-1,9К с шириной захвата 0,25 м каждой теребильной секции

F i g. 4. General view of the flax pulling machine THLN-1.9K with each pulling section operating width of 0.25 m

Предметом исследования являлись закономерности изменения показателей качества работы льнотеребильных аппаратов с поперечными ленточно-дисковыми ручьями.

В лабораторно-полевых опытах использовали сорт льна-долгунца Леннок с урожайностью семян при нормированной влажности  $U_c = 0,3$  т/га и  $U_c = 0,7$  т/га со средней общей длиной стеблей 0,70–0,75 м и густотой стеблестоя 1 055–1 544 шт./м<sup>2</sup>. Уборку льна в эксперименте проводили согласно ГОСТу 33734-2016<sup>9</sup>. Продолжительность вылежки льносоломы в тресту составила 26 суток.

Оценку льнотресты проводили согласно ГОСТам и по разработанной во

Всероссийском научно-исследовательском институте льна методике<sup>10</sup>. Эксперименты проводили в трехкратной повторности.

Для оценки показателя разделяемости растений льна и выявления источников потерь семян был проведен лабораторно-полевой опыт со льном в разных фазах спелости. Фазу спелости льна на делячных посевах определяли по количеству в стеблестое семенных коробочек различной спелости. Это наиболее точный и быстрый способ<sup>11</sup>.

При посеве устанавливали различные нормы высева семян на делянках. Получена густота стеблестоя от 980 до 2 410 растений льна на одном

<sup>9</sup> ГОСТ 33734-2016. Техника сельскохозяйственная. Комбайны и машины для уборки льна. Методы испытаний. М., 2017.

<sup>10</sup> ГОСТ 24383-89. Треста льняная. Требования при заготовках. М., 1998 ; ГОСТ 10330-76. Лен трепаный. Технические условия. М., 1982.

<sup>11</sup> Ковалев М. М. Технологии и машины для комбинированной уборки льна-долгунца.

квадратном метре, которую определяли по известной методике<sup>12</sup>.

Работающий на установленном режиме агрегат останавливали и подсчитывали количество стеблей, находящихся в зоне зажима в теребивильном ручье, но сцепленных коробочками в зоне схода со стеблеподводов делителя.

Показатель разделяемости  $R$  определяли по формуле:

$$R = \left( 1 - \frac{i_{\text{сц}}}{i_0} \right) 100 \%, \quad (1)$$

где  $i_{\text{сц}}$  – количество сцепленных растений, находящихся на участке от их схода со стеблеподводов делителей до начала касания трубы рамы, шт.;  $i_0$  – количество стеблей, находящихся в теребивильном участке ручья, шт.:

$$i_0 = B i S_p \mu, \quad (2)$$

где  $B$  – расстояние между носками делителей, м;  $i$  – густота стеблестоя, шт./м<sup>2</sup>;  $S_p$  – длина теребивильного участка, м;  $\mu$  – показатель скоростного режима ( $\mu = v_m / v_p$ , где  $v_m$  – скорость агрегата, м/с;  $v_p$  – скорость теребивильных ремней, м/с).

Определение влияния ширины захвата теребивильной секции на показатели выхода и качества длинного волокна проводили с использованием теребивильных аппаратов ТЛН-1,9М с шириной захвата 0,38 м каждой теребивильной секции (рис. 3) и ТЛН-1,9К с шириной захвата 0,25 м каждой теребивильной секции (рис. 4).

### Результаты исследования

Оценка процесса теребивления и качества работы льнотеребивильного аппарата ТЛН-1,9П с поперечными ленточно-дисковыми ручьями и расположением труб рамы над теребивильными шкивами показала, что в процессе теребивления

растений льна (стеблей с семенными коробочками) на них одновременно действуют три фактора: подвод растений к теребивильному ручью делителями, зажим стеблей в теребивильных ручьях и разделение их технологических потоков трубами рамы 2 (рис. 2а, 2б). Механическое воздействие труб рамы на растения льна приводит к отрыву семенных коробочек с растений льна, увеличению повреждений стеблей и снижению надежности выполнения технологического процесса.

Для устранения данных недостатков предложено в льнотеребивильном аппарате ТЛН-1,9М с поперечными ленточно-дисковыми ручьями размещать трубы рамы за теребивильными шкивами, что является инновационным техническим решением для аппаратов такого типа (рис. 2с) [15; 16]. При этом условии исключается разделение технологических потоков растений льна, а отрыв семенных коробочек и повреждения стеблей минимальны.

В процессе подвода растений льна делителями к теребивильным ручьям они отклоняются в поперечной и продольной плоскостях, что вызывает комлевую растянутость и перекашивание стеблей в образующейся ленте. Это явление считается негативным, так как оно отрицательно влияет на выход и качество волокна при переработке льнотресты. Поэтому для повышения выхода и качества волокна необходимо уменьшать растянутость стеблей в ленте [17–19].

Для более детального анализа образования комлевой растянутости и показателя разделяемости растений льна, а также степени повреждения стеблей, потерь семян, выхода и качества волокна необходимо определить пути уменьшения растянутости, показателей разделяемости растений и провести технологическую оценку волокна.

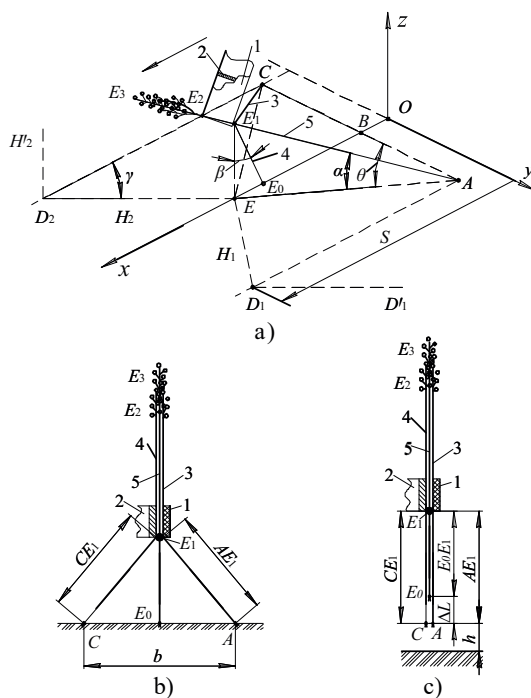
<sup>12</sup> Там же ; ГОСТ 33734-2016.



На рисунке 5 схематически показано образование комлевой растянутости стеблей, обусловленное особенностями процесса тербления, при котором между тербильным ремнем 1 и дисками 2 одновременно зажимаются стебли  $AE_1E_3$ ,  $CE_1E_3$  и  $E_0E_1E_3$ , корни которых закреплены в точках  $A$ ,  $C$  и  $E_0$  на разных расстояниях  $CE_1$ ,  $AE_1$  и  $E_0E_1$  от точки зажима  $E_1$ . При сборе этих стеблей в элементарный пучок параллельных растений корни их оказываются смещенными друг относительно друга на разные расстояния. Разность

между наибольшим и наименьшим смещением корней является абсолютной комлевой растянутостью  $\Delta L$  стеблей (рис. 5б, 5с).

Анализ влияния делителей на стебли льна без учета сцепления их верхних частей семенными коробочками изложен в ряде работ<sup>13</sup>. Ниже приводится определение комлевой растянутости пучка растений, сцепленных семенными коробочками в зоне  $E_2E_3$ . На схеме (рис. 5а) площадь  $D_2CAD_1$  – горизонтальная поверхность поля, с которой жестко связана система координат  $xOyz$ .



Р и с. 5. Схемы к определению комлевой растянутости  $\Delta L$  стеблей во время их тербления:

- а) положение растений и проекции стеблеподводов делителя на горизонтальную плоскость;
- б) элементарный пучок растений при воздействии на них носков делителей;
- с) в процессе тербления; 1 – тербильный ремень; 2 – тербильный шкив; 3–5 – растения льна

Fig. 5. Schemes for determining the elongation of  $\Delta L$  flax stem base during pulling:

- a) the position of flax plants and the projection of the divider stem inlets on the horizontal plane;
- b) an elementary bundle of plants when exposed to the socks of the dividers;
- c) in the process of pulling; 1 – the pulling belt; 2 – pulley; 3–5 – flax plants

<sup>13</sup> Хайлис Г. А. Теория льноуборочных машин ; Налобина О. О. Механіко-технологічні основи процесів взаємодії робочих органів льнозбирального комбайна з рослинним матеріалом : дис. ... д-ра. техн. наук. Луцьк, 2008. 365 с. URL: <http://www.disslib.org/mekhaniko-teknologichni-osnovy-protsesiv-vzayemodiyi-robochykh-orhaniv-lonozbyralnoho.html> (дата обращения: 04.01.2022).

Делители перемещаются в направлении оси  $x$ , а их носики проходят путь  $S$ . При этом они наклоняют стебли до положения  $AE_1$ ,  $CE_1$  и  $E_0E_1$  их нижних частей.  $D'_1D_1H_1$  и  $H'_2D_2H_2$  проекции делителей на горизонтальную плоскость (для упрощения делители не показаны). На стебли  $AE_1E_3$  и  $CE_1E_3$  действуют стеблеподводы делителей, проекции которых обозначены  $H_2D_2$  и  $H_1D_1$ . Одновременно с этими стеблями через сцепленность наклоняются и расположенные между ними стебли  $E_0E_1E_3$ . На участках  $E_1E_2$  стебли зажимаются в теребивных ручьях.

Линия  $CD_2$  есть линия пересечения продольно-вертикальной плоскости, проходящей через точку  $C$  стебля и носик правого делителя, с горизонтальной плоскостью. Линия  $AD_1$  есть линия пересечения продольно-вертикальной плоскости, проходящей через основу  $A$  стебля и носик левого делителя, с горизонтальной плоскостью. Линия  $OBE_0E$  совпадает с осью  $Ox$  и с линией пересечения продольно-вертикальной плоскости, проходящей через нижнюю точку  $E_1$  теребивного ручья и основы  $E_0$  стебля, с горизонтальной плоскостью.

Так как  $AB = BC$  и  $AE_1 = CE_1$ , то треугольник  $AEE_1$  равен треугольнику  $CEE_1$ . Абсолютная комлевая растянутость  $AE_1 - E_0E_1 = CE_1 - E_0E_1$ .

Для определения зависимости комлевой растянутости  $\Delta L$  воспользуемся зависимостью длин  $AE_1$  и  $E_0E_1$  от высоты теребления, равной  $EE_1 = Z_k$ , и ширины захвата теребивной секции  $AC = b$ . Обозначим угол наклона стебля  $AE_1$  к горизонтали  $\alpha$ , угол наклона линии  $AE$  к линии  $AB$  через  $\theta$ , а угол наклона вперед линии  $E_0E_1$  к вертикали  $\beta$ . Тогда из треугольника  $AE_1E$  следует, что  $AE_1 = EE_1 / \sin\alpha = Z_k / \sin\alpha$ , а из треугольника  $E_0E_1E$  имеем  $E_0E_1 = EE_1 / \sec\beta = Z_k / \sec\beta$ .

С учетом этого

$$\begin{aligned} \Delta L &= AE_1 - E_0E_1 = \\ &= Z_k / \sin\alpha - Z_k / \sec\beta = \\ &= Z_k(1 / \sin\alpha - 1 / \sec\beta). \end{aligned} \quad (3)$$

Угол  $\beta$  зависит от густоты стеблестоя, сцепленности верхушечной части растений льна и наклона рядом находящихся стеблей. Если растения не сцеплены, то для них угол  $\beta$  будет близок к нулю.

Угол  $\alpha$  находится из треугольника  $AEE_1$ :

$$\cos\alpha = AE / AE_1 = b \sin\alpha / 2Z_k \cos\theta,$$

откуда  $\operatorname{tg}\alpha = 2Z_k \cos\theta / b$ .  
Так как  $\sin\alpha = \operatorname{tg}\alpha / \sqrt{1 + \operatorname{tg}^2\alpha}$ , то подставим это в (3) и получим:

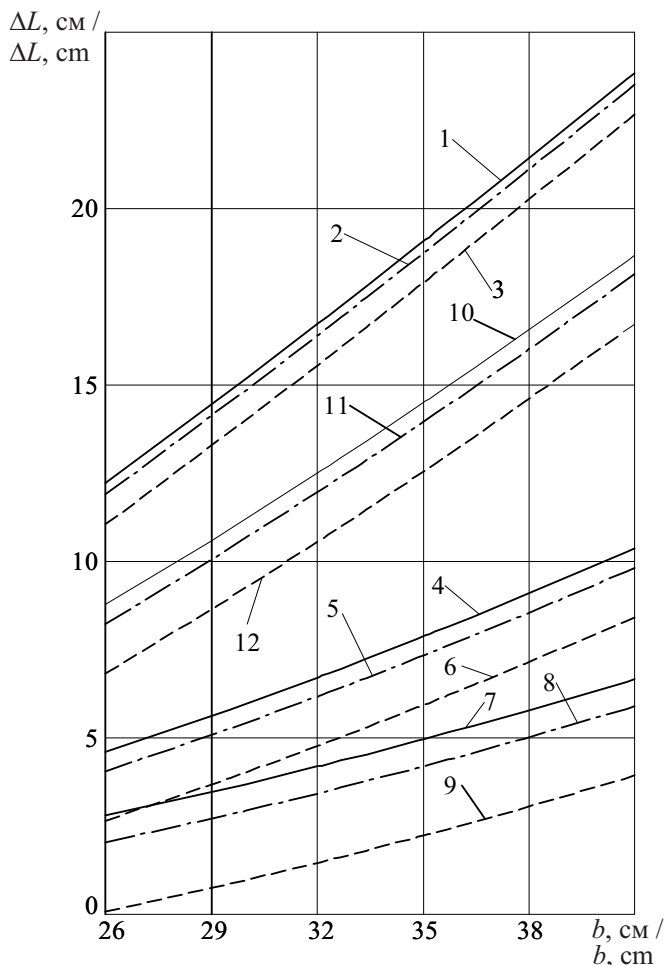
$$\begin{aligned} \Delta L &= \frac{\sqrt{b^2 + 4Z_k^2 \cdot \cos\theta}}{2 \cos\theta} - Z_k \cdot \sec\beta = \\ &= \sqrt{\left(\frac{b}{2 \cos\theta}\right)^2 + Z_k^2} - Z_k \cdot \sec\beta. \end{aligned} \quad (4)$$

Угол  $\theta$  зависит от угла трения скольжения  $\varphi$  стеблеподвода делителя по стеблям и угла отклонения  $\gamma$  стеблеподвода от продольно-вертикальной плоскости (на рисунке 3 угол  $\gamma_0$  показан проекцией угла  $\gamma$  на горизонтальную плоскость)<sup>14</sup>. Угол  $\theta$  приблизительно равен  $\theta = \gamma_0 + \varphi$ .

В соответствии с формулой (4) проведены расчеты и определена комлевая растянутость  $\Delta L$  в зависимости от ширины захвата  $b$  теребивной секции для ряда значений  $Z_k$ ,  $\theta$  и  $\beta$ . Зависимость графически показана на рисунке 6.

Расчеты показали, что комлевая растянутость  $\Delta L$  стеблей увеличивается с ростом угла  $\theta$  и ширины захвата  $b$  секции и уменьшением угла  $\beta$  и высоты  $Z_k$  теребления. Однако с уменьшением ширины захвата  $b$  теребивной секции, при одной и той же ширине захвата теребивного аппарата, будет

<sup>14</sup> Там же.



Р и с. 6. Зависимость комлевой растянутости  $\Delta L$  стеблей от ширины захвата  $b$  теребильной секции при: 1–3 –  $Z_k = 15$  см,  $\theta = 45^\circ$ ,  $\beta = 2^\circ, 12^\circ, 22^\circ$ ; 4–6 –  $Z_k = 25$  см,  $\theta = 35^\circ$ ,  $\beta = 2^\circ, 12^\circ, 22^\circ$ ; 7–9 –  $Z_k = 35$  см,  $\theta = 25^\circ$ ,  $\beta = 2^\circ, 12^\circ, 22^\circ$ ; 10–12 –  $Z_k = 25$  см,  $\theta = 45^\circ$ ,  $\beta = 2^\circ, 12^\circ, 22^\circ$

F i g. 6. Dependence of the elongation of  $\Delta L$  flax stem base on the operating width  $b$  of the pulling section at: 1–3 –  $Z_k = 15$  см,  $\theta = 45^\circ$ ,  $\beta = 2^\circ, 12^\circ, 22^\circ$ ; 4–6 –  $Z_k = 25$  см,  $\theta = 35^\circ$ ,  $\beta = 2^\circ, 12^\circ, 22^\circ$ ; 7–9 –  $Z_k = 35$  см,  $\theta = 25^\circ$ ,  $\beta = 2^\circ, 12^\circ, 22^\circ$ ; 10–12 –  $Z_k = 25$  см,  $\theta = 45^\circ$ ,  $\beta = 2^\circ, 12^\circ, 22^\circ$

усложняется конструкция теребильного аппарата, увеличится его материалоемкость и трудоемкость обслуживания. В теребильных аппаратах этот параметр можно считать устоявшимся. Он находится в пределах 0,25–0,38 м<sup>15</sup>.

Результаты исследования по определению показателей разделяемости  $R$  растений в процессе выполнения технологического процесса теребильным аппаратом ГЛН-1,9П показаны в таблице 1.

<sup>15</sup> Хайлис Г. А. Теория льноуборочных машин.

Т а б л и ц а 1  
T a b l e 1

**Количество сцепленных растений  $i_{сц}$  и показатель их разделяемости  $R$  в теребильном аппарате ТЛН-1,9П (при  $\mu = 1$ ;  $S_p = 0,3$  м;  $b = 0,38$  м)**  
**The number of linked plants  $i_{сц}$  and their separability index  $R$  in the pulling unit THLN-1.9P (when  $\mu = 1$ ;  $S_p = 0.3$  m;  $b = 0.38$  m)**

Густота стеблестоя $i$ , шт./м <sup>2</sup> / Stem density $i$ , pcs/m <sup>2</sup>	Количество стеблей в теребильном участке ручья $i_0$ , шт. / Number of stems in the pulling section of the pulling channel $i_0$ , pcs	Фазы спелости льна / Phases of ripeness of flax							
		зеленая / green		ранняя желтая / early yellow		желтая / yellow		полная / full	
		$i_{сц}$	$R$	$i_{сц}$	$R$	$i_{сц}$	$R$	$i_{сц}$	$R$
980	111,7	5	95,5	6	94,6	15	86,6	30	73,2
1 350	153,9	10	93,5	12	92,2	24	84,4	48	68,8
1 930	220,0	16	92,4	18	91,8	38	82,7	72	67,2
2 410	274,7	25	90,9	30	89,1	55	80,0	98	64,3

Из таблицы 1 следует, что с увеличением фазы спелости льна количество сцепленных растений  $i_{сц}$  возрастает, а показатель их разделяемости  $R$  резко снижается. В фазе полной спелости на высокоурожайном льне ( $i = 2\ 410$  шт./м<sup>2</sup>) разделяемость растений составляет 64,3 %.

Это значит, что 35,7 % растений не разделяются делителями, а разрываются трубами рамы теребильного аппарата. Так как в фазе полной спелости усилие отрыва семенных коробочек от стеблей наименьшее, по сравнению с фазой ранней желтой спелости, то потери семян при разрыве ленты растений трубами рамы аппарата достигает 12 % (данные Калининской МИС)<sup>16</sup>.

Результаты лабораторно-полевых опытов показали, что для существенного снижения потерь семян необходимо применять льнотеребилки с поперечными ленточно-дисковыми ручьями на тереблении посевов культуры в фазе ранней желтой спелости. В этом случае сцепленность растений наименьшая,

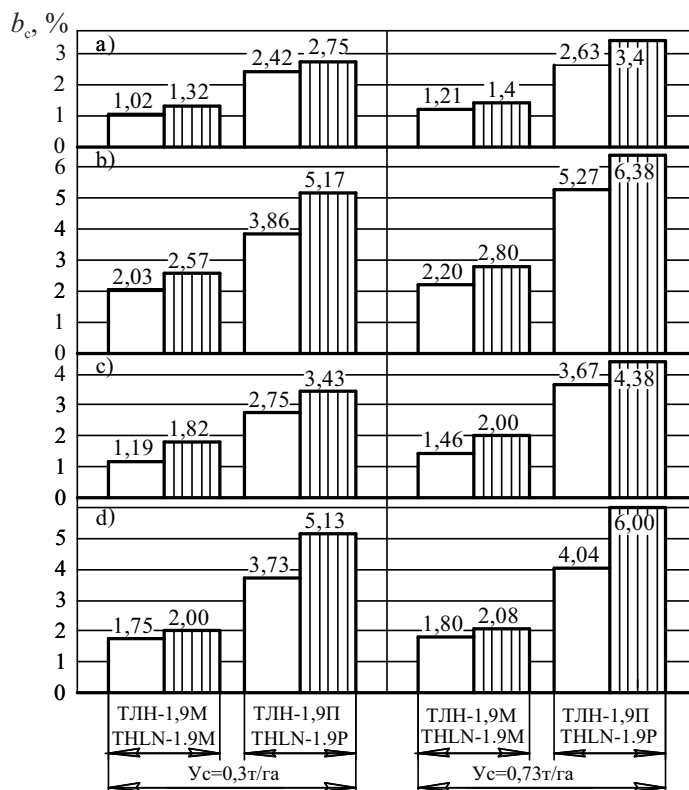
а прочность коробочек и усилие отрыва от стеблей наибольшие.



Основопологающим фактором является изменение конструкции рамы теребильного аппарата путем переноса труб за теребильные шкивы, что исключит разделение технологических потоков при тереблении и транспортировании растений.

Исследования по определению влияния разделения стеблестоя при тереблении льна на потери семян проводили с использованием аппаратов ТЛН-1,9П и ТЛН-1,9М (рис. 2, 3). Результаты экспериментов показаны на рисунке 7.

Из рисунка 7 следует, что при уборке льна аппаратом ТЛН-1,9П потери  $b_c$  семян резко возрастают в сравнении с потерями при использовании ТЛН-1,9М. Рост потерь семян  $b_c$  имеет место во всех вариантах лабораторно-полевого опыта: на низкоурожайном ( $Y_c = 0,3$  т/га) и высокоурожайном ( $Y_c = 0,73$  т/га) льне, в ранней желтой (рис. 7а), желтой (рис. 7с) и полной (рис. 7д) спелостях прямостоящего льна, а также в ранней желтой спелости полеглого льна (рис. 7б).

<sup>16</sup> Там же.



Р и с. 7. Потери семян, допускаемые аппаратами ТЛН-1,9П и ТЛН-1,9М при тереблении льна разной урожайности:  –  $v_m = 1,6$  м/с;  –  $v_m = 2,8$  м/с

F i g. 7. Seed losses when using the pulling units ТЛН-1.9П and ТЛН-1.9М during pulling flax of different yields:  –  $v_m = 1.6$  m/s;  –  $v_m = 2.8$  m/s

Эти потери семян при созревании посевов возрастают, причем наибольшие потери имеют место при тереблении полностью созревшего прямо стоящего льна. При тереблении полегло льна вследствие сцепления растений верхушечной частью и переплетения друг с другом наблюдаются повышенные потери семян. При возрастании скорости агрегата потери семян у теребильных аппаратов увеличиваются, что является следствием более интенсивного воздействия рабочих органов на растения.

Различие результатов по потерям семян между рассматриваемыми теребильными аппаратами

статистически доказуемо. Критерий Фишера:  $F_{\text{расч}} > F_{\text{табл}}$  ( $8,9 > 3,0$ ).

Экспериментально установлено, что расположение рамы над теребильными шкивами увеличивает потери семян и снижает разрывную нагрузку стеблей, по сравнению с потерями при расположении рамы за теребильными шкивами, что необходимо учитывать при разработке новых технических средств.

В варианте I при  $v_m = 1,6-3,0$  м/с разрывная нагрузка стеблей была равна 23 Н, а в варианте II (ТЛН-1,9М) она составила 25 Н, то есть на 2 Н выше. Средний номер льнотресты в варианте I составил 1,25 номера, а в варианте

II – 1,5 номера. Все это подтверждает уменьшение отрицательного воздействия аппарата ТЛН-1,9М на стебли по сравнению с аппаратом ТЛН-1,9П.

В результате оценки тресты подтверждено, что при использовании аппарата ТЛН-1,9М наблюдаются более высокие показатели выработки и номера длинного волокна (табл. 2). При работе уборочного агрегата на скоростях  $v_m$  1,6–3,0 м/с и ширине захвата теребивильной секции  $b$  0,25–0,38 м выход длинного волокна (средний) составил: в варианте I – 11,96 %, а варианте II – 13,26 %, что на 1,3 % выше, чем в варианте I.

Уменьшение ширины захвата (уменьшение комлевой растянутости стеблей) теребивильной секции с 0,38 до 0,25 м обеспечивает статистически доказываемое увеличение среднего выхода длинного волокна на 0,35 % в варианте I и на 0,51 % в варианте II. Изменение показателя выхода длинного волокна по вариантам было выше, чем изменение показателя номера длинного волокна (табл. 2). В варианте I номер волокна находится в пределах от 9,12 до 9,53 ед, а в варианте II от 9,71 до 9,80 ед. Таким образом, проведенная технологическая

оценка подтверждает более высокое качество волокна при тереблении посевов аппаратом ТЛН-1,9М.

### Обсуждение и заключение

Проведенные исследования показали, что снижение дополнительных механических воздействий на растения льна путем внесения изменений в конструкцию аппарата с поперечными ручьями эффективно влияет на выполнение технологического процесса: обеспечивает устойчивость теребления растений, снижает потери семян, увеличивает разрывную нагрузку стеблей, номера льнотресты и длинного волокна, процентономера длинного волокна.

Как показывают результаты исследований, увеличение сборов и качества льнопродукции может быть достигнуто с помощью традиционного способа уборки льна (теребление с формированием ленты растений) и его модернизации. Полученные данные свидетельствуют о том, что дополнительное механическое воздействие на растения, возникающее при работе льнотеребивильных аппаратов с расположением рам над теребивильными шкивами, может быть устранено за счет улучшения конструкции теребивильного аппарата.

Таблица 2  
Table 2

Показатели технологической оценки льнотресты в опыте с теребивильными аппаратами ТЛН-1,9П и ТЛН-1,9М  
Indicators of technological evaluation of flax straw in the experience with the THLN-1.9P and THLN-1.9M pulling units

Номер варианта / Option-number	Вариант / Option	Скорость агрегата $v_m$ , м/с / Unit speed $v_m$ , m/s	Длинное волокно / Long fiber					
			$b = 0,25$ м / $b = 0.25$ m			$b = 0,38$ м / $b = 0.38$ m		
			Выход, % / Output, %	Средний номер / Average number	Процентономер / Percentage number	Выход, % / Output, %	Средний номер / Average number	Процентономер / Percentage number
I	ТЛН-1,9П	1,6	12,30	9,53	117,2	11,90	9,20	109,5
		3,0	11,97	9,36	112,0	11,68	9,12	106,5
II	ТЛН-1,9М	1,6	13,50	9,80	132,3	13,00	9,71	126,2
		3,0	13,46	9,78	131,6	12,95	9,69	125,5

Для этого нужно перенести его раму за теребильные шкивы, что позволит устранить разделение технологических потоков растений при их тереблении и транспортировании.

Применение льнотеребильного аппарата ТЛН-1,9М в фазе ранней желтой спелости позволяет снизить потери семян на 1,4–2,0 %. При этом выработка длинного волокна была равна 13,23 %, а его номер составил 9,7 ед, что, в сравнении с аппаратом ТЛН-1,9П, выше на 1,3 % и на 0,25 ед соответственно.

Результаты исследования и испытаний теребильного аппарата ТЛН-1,9М были использованы специалистами Калининской МИС и Федерального научного центра лубяных культур для выпуска опытной партии таких аппаратов.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Основные проблемы научного обеспечения льноводства / Р. А. Ростовцев [и др.] // Сельскохозяйственные машины и технологии. 2020. Т. 14, № 3. С. 45–52. doi: <https://doi.org/10.22314/2073-7599-2020-14-3-45-52>

2. Галкин А. В., Фадеев Д. Г., Ущиповский И. В. Исследование качественных характеристик льноволокна в зависимости от конструкции очесывающего аппарата // Вестник Мордовского университета. 2018. Т. 28, № 3. С. 389–399. doi: <https://doi.org/10.15507/0236-2910.028.201803.389-399>

3. Akin D. E. Linen Most Useful: Perspectives on Structure, Chemistry, and Enzymes for Retting Flax [Электронный ресурс] // International Scholarly Research Notices. 2013. doi: <https://doi.org/10.5402/2013/186534>

4. Методика определения закономерности растяжения группы стеблей растительных материалов / Ю. Ф. Лачуга [и др.] // Российская сельскохозяйственная наука. 2021. № 1. С. 67–71. doi: <https://doi.org/10.31857/S2500262721010166>

5. A Method for Determining Stretching Patterns of a Group of Stems in Plant Materials / Yu. F. Lachuga [et al.] // Russian Agricultural Sciences. 2021. Vol. 47. P. 182–187. doi: <https://doi.org/10.3103/S1068367421020129>

6. Головачук І. П., Величко В. Л. Аналіз математичної моделі стебла льону // Сільськогосподарські машини. 2017. № 38. С. 27–34. URL: [https://forum.lntu.edu.ua/index.php/jurnal32/issue/view/84/ВИПУСК\\_38](https://forum.lntu.edu.ua/index.php/jurnal32/issue/view/84/ВИПУСК_38) (дата обращения: 10.03.2021).

7. Результаты исследований сопротивления растительных материалов изгибу при взаимодействии с рабочими органами уборочных машин / М. М. Ковалев [и др.] // Наука в Центральной России. 2021. № 2. С. 5–12. doi: <https://doi.org/10.35887/2305-2538-2021-2-5-12>

8. Research on New Technology of Fiber Flax Harvesting / J. Mańkowski [et al.] // Journal of Natural Fibers. 2018. Vol. 15, Issue 1. P. 53–61. doi: <https://doi.org/10.1080/15440478.2017.1302390>

9. Ковалев М. М., Перов Г. А., Просолов С. В. Анализ работы делителей в трудных условиях уборки // Техника и оборудование для села. 2020. № 11. С. 20–24. doi: <https://doi.org/10.33267/2072-9642-2020-11-20-24>

10. Поздняков Б. А. Актуальные направления совершенствования системы машин для уборки льна-долгунца // Техника и оборудование для села. 2019. № 8. С. 2–6. doi: <https://doi.org/10.33267/2072-9642-2019-8-2-6>

11. Толстушко М. М., Толстушко Н. О., Юхимчук С. М. Аналіз роботи вивідного пристрою льнозбиральної машини // Сільськогосподарські машини. 2019. № 43. С. 134–138. doi: <https://doi.org/10.36910/agromash.vi43.212>

12. Ростовцев Р. А., Черников В. Г., Ущиповский И. В. Основные направления модернизации льняного агропромышленного комплекса России // Вестник аграрной науки. 2019. № 1. С. 19–30. doi: <https://doi.org/10.15217/issn2587-666X.2019.1.19>

13. Юхимчук С. Ф., Дацюк Л. М., Сацюк В. В. Визначення повертання стебел льону в рівчачках брального апарату // Сільськогосподарські машини. 2017. № 38. С. 27–34. URL: [https://eforum.lntu.edu.ua/index.php/jurnal32/issue/view/82/ВИПУСК\\_36](https://eforum.lntu.edu.ua/index.php/jurnal32/issue/view/82/ВИПУСК_36) (дата обращения: 10.03.2021).

14. Dudarev I., Say V. Development of Resource-Saving Technology of Linseed Harvesting // Journal of Natural Fibers. 2020. Vol. 17, Issue 9. P. 1307–1316. doi: <https://doi.org/10.1080/15440478.2018.1558161>

15. Льнотеребилка : патент 2086090 Российская Федерация / Ковалев М. М. [и др.]. № 92015298 ; заявл. 29.12.1992 ; опубл. 10.08.1997. 5 с.

16. Льнотеребилка : патент 2321203 Российская Федерация / Ковалев М. М. [и др.]. № 2006123820 ; заявл. 15.07.2006 ; опубл. 10.04.2008. 6 с.

17. Зинцов А. Н., Соколов В. Н. Разработка и исследование процесса уменьшения растянутости стеблей льна-долгунца в ленте // Аграрный вестник Нечерноземья. 2021. № 4. С. 29–35.

18. Dudarev I. A Review of Fibre Flax Harvesting: Conditions, Technologies, Processes and Machines [Электронный ресурс] // Journal of Natural Fibers. 2020. Vol. 12, Issue 2. doi: <https://doi.org/10.1080/15440478.2020.1863296>

19. 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. doi: <https://doi.org/10.15507/2658-4123.032.202201.126-144>

*Поступила 17.05.2022; одобрена после рецензирования 13.06.2022; принята к публикации 20.06.2022*

*Об авторах:*

**Ростовцев Роман Анатольевич**, директор Федерального научного центра лубяных культур (170041, Российская Федерация, г. Тверь, Комсомольский пр-т, д. 17/56), доктор технических наук, профессор РАН, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0368-1035>, Researcher ID: [AIE-3974-2022](https://orcid.org/AIE-3974-2022), [r.rostovcev@fncl.ru](mailto:r.rostovcev@fncl.ru)

**Ковалев Михаил Михайлович**, главный научный сотрудник Федерального научного центра лубяных культур (170041, Российская Федерация, г. Тверь, Комсомольский пр-т, д. 17/56), доктор технических наук, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2424-4205>, Researcher ID: [AAT-4775-2021](https://orcid.org/AAT-4775-2021), [m.kovalev@fncl.ru](mailto:m.kovalev@fncl.ru)

**Перов Геннадий Анатольевич**, ведущий научный сотрудник Федерального научного центра лубяных культур (170041, Российская Федерация, г. Тверь, Комсомольский пр-т, д. 17/56), кандидат технических наук, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5830-6817>, Researcher ID: [AAB-5326-2022](https://orcid.org/AAB-5326-2022), [g.perov@fncl.ru](mailto:g.perov@fncl.ru)

**Просолов Сергей Викторович**, младший научный сотрудник Федерального научного центра лубяных культур (170041, Российская Федерация, г. Тверь, Комсомольский пр-т, д. 17/56), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5879-905X>, Researcher ID: [GPF-8674-2022](https://orcid.org/GPF-8674-2022), [tver.dep.sela@rambler.ru](mailto:tver.dep.sela@rambler.ru)

*Заявленный вклад авторов:*

Р. А. Ростовцев – формулирование концепции решения, постановка задачи, анализ результатов исследования.

М. М. Ковалев – научное руководство, критический анализ результатов исследования, разработка и доработка решения.

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.

*Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.*



## REFERENCES

1. 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., abstract in Eng.) doi: <https://doi.org/10.22314/2073-7599-2020-14-3-45-52>
2. Galkin A.V., Fadeev D.G., Uschapovsky I.V. Studying Quality Characteristics of Flax Fiber Depending on Deseeding Device Design. *Mordovia University Bulletin*. 2018;28(3):389–399. (In Russ., abstract in Eng.) doi: <https://doi.org/10.15507/0236-2910.028.201803.389-399>
3. Akin D.E. Linen Most Useful: Perspectives on Structure, Chemistry, and Enzymes for Retting Flax. *International Scholarly Research Notices*. 2013. doi: <https://doi.org/10.5402/2013/186534>
4. Lachuga Yu.F., Kovalev M.M., Perov G.A., Galkin A.V. Method for Determining the Pattern of Stretching Groups of Stems of Plant Materials. *Rossiiskaia selskokhoziaistvennaia nauka*. 2021;(1):67–71. (In Russ., abstract in Eng.) doi: <https://doi.org/10.31857/S2500262721010166>
5. Lachuga Yu.F., Kovalev M.M., Perov G.A., Galkin A.V. A Method for Determining Stretching Patterns of a Group of Stems in Plant Materials. *Russian Agricultural Sciences*. 2021;47:182–187. doi: <https://doi.org/10.3103/S1068367421020129>
6. Golovachuk I.P., Velychko V.L. Analysis of Mathematical Model of Flax Stem. *Agricultural Machines*. 2017;(38):27–34. Available at: <https://eforum.lntu.edu.ua/index.php/jurnal32/issue/view/84/ВИПІУСК 38> (accessed 10.03.2021). (In Ukr., abstract in Eng.)
7. Kovalev M.M., Prosolov S.V., Perov M.G., Shishin D.A. Method for Determining the Pattern of Stretching Groups of Stems of Plant Materials. *Science in the Central Russia*. 2021;(2):5–12. (In Russ., abstract in Eng.) doi: <https://doi.org/10.35887/2305-2538-2021-2-5-12>
8. Mańkowski J., Maksymiuk W., Sychalski G., et al. Research on New Technology of Fiber Flax Harvesting. *Journal of Natural Fibers*. 2018;15(1):53–61. doi: <https://doi.org/10.1080/15440478.2017.1302390>
9. Kovalev M.M., Perov G.A., Prosolov S.V. Analysis of Separator Operation in Difficult Harvesting Conditions. *Machinery and Equipment for Rural Area*. 2020;(11):20–24. (In Russ., abstract in Eng.) doi: <https://doi.org/10.33267/2072-9642-2020-11-20-24>
10. Pozdnyakov B.A. Up-to-Date Areas of Improving the System of Machines for Harvesting Fiber Flax. *Machinery and Equipment for Rural Area*. 2019;(8):2–6. (In Russ., abstract in Eng.) doi: <https://doi.org/10.33267/2072-9642-2019-8-2-6>
11. Tolstushko M.M., Tolstushko N.O., Yukhimchuk S.M. Analysis of the Output of the Flax Harvester Output Device. *Agricultural Machines*. 2019;(43):134–138. (In Ukr., abstract in Eng.) doi: <https://doi.org/10.36910/agromash.vi43.212>
12. Rostovtsev R.A., Chernikov V.G., Uschapovsky I.V. Main Directions of the Modernization of the Flax Agroindustrial Complex of Russia. *Bulletin of Agrarian Science*. 2019;(1):19–30. (In Russ., abstract in Eng.) doi: <https://doi.org/10.15217/issn2587-666X.2019.1.19>
13. Yukhymchuk S.F., Datsyuk L.M., Satsiuk V.V. Definitions Turn the Stalks of Flax in the Streams Pulling Apparatus. *Agricultural Machines*. 2017;(38):27–34. Available at: <https://eforum.lntu.edu.ua/index.php/jurnal32/issue/view/82/ВИПІУСК 36> (accessed 10.03.2021). (In Ukr., abstract in Eng.)
14. Dudarev I., Say V. Development of Resource-Saving Technology of Linseed Harvesting. *Journal of Natural Fibers*. 2020;17(9):1307–1316. doi: <https://doi.org/10.1080/15440478.2018.1558161>
15. Kovalev M.M., Brotsman A.I., Chernikov V.G., et al. [Flax Pulling Machine]. Patent 2,086,090 Russian Federation. 1997 August 10. 5 p. (In Russ.)
16. Kovalev M.M., Khaylis G.A., Prosolov S.V., et al. [Flax Pulling Machine]. Patent 2,321,203 Russian Federation. 2008 April 10. 6 p. (In Russ.)
17. Zintsov A.N., Sokolov V.N. [Development and Research of the Process of Reducing the Stretching of Flax Stems in the Tape]. *Agrarnyy vestnik Nechernozemya*. 2021;(4):29–35. (In Russ.)
18. Dudarev I. A Review of Fibre Flax Harvesting: Conditions, Technologies, Processes and Machines. *Journal of Natural Fibers*. 2020;12(2). doi: <https://doi.org/10.1080/15440478.2020.1863296>

19. 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. doi: <https://doi.org/10.15507/2658-4123.032.202201.126-144>

*Submitted 17.05.2022; approved after reviewing 13.06.2022; accepted for publication 20.06.2022*

*About the authors:*

**Roman A. Rostovtsev**, Director, Federal Scientific Center for Bast Crops (17/56 Komsomolskiy Prospect, Tver 170041, Russian Federation), Dr.Sci. (Engr.), Professor of RAS, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0368-1035>, Researcher ID: AIE-3974-2022, r.rostovcev@fncl.ru

**Mikhail M. Kovalev**, Chief Scientist, Federal Scientific Center for Bast Crops (17/56 Komsomolskiy Prospect, Tver 170041, Russian Federation), Dr.Sci. (Engr.), ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2424-4205>, Researcher ID: AAT-4775-2021, m.kovalev@fncl.ru

**Gennady A. Perov**, Leading Researcher, Federal Scientific Center for Bast Crops (17/56 Komsomolskiy Prospect, Tver 170041, Russian Federation), Cand.Sci. (Engr.), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5830-6817>, Researcher ID: AAB-5326-2022, g.perov@fncl.ru

**Sergey V. Prosolov**, Researcher, Federal Scientific Center for Bast Crops (17/56 Komsomolskiy Prospect, Tver 170041, Russian Federation), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5879-905X>, Researcher ID: GPF-8674-2022, tver.dep.sela@rambler.ru

*Contribution of the authors:*

R. A. Rostovtsev – formulation of the concept of research, problem statement, analysis of research results.

M. M. Kovalev – scientific guidance, critical analysis of research results, development and refinement of the solution.

G. A. Perov – determination of research methodology, collection and analysis of materials on the topic of research, conducting research, finalizing the text.

S. V. Prosolov – preparation and analysis of literature data, research and processing of experimental data.

*All authors have read and approved the final manuscript.*