

**Учреждение образования  
«БЕЛОРУССКАЯ ГОСУДАРСТВЕННАЯ ОРДЕНОВ  
ОКТЯБРЬСКОЙ РЕВОЛЮЦИИ И ТРУДОВОГО КРАСНОГО  
ЗНАМЕНИ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННАЯ АКАДЕМИЯ»**

УДК 631.361.42 : 631.3.022

**ЛЕВЧУК  
Виталий Анатольевич**

**ОБМОЛОТ ЛЕНТ ЛЬНОТРЕСТЫ В ЛИНИИ ПЕРВИЧНОЙ  
ПЕРЕРАБОТКИ ОЧЕСЫВАЮЩЕ-ПЛЮЩИЛЬНЫМ АППАРАТОМ**

**Автореферат**  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

по специальности 05.20.01 – технологии и средства  
механизации сельского хозяйства  
(технические науки)

**Горки, 2023**

Научная работа выполнена в учреждении образования «Белорусская государственная орденов Октябрьской Революции и Трудового Красного Знамени сельскохозяйственная академия» (УО БГСХА).

Научный руководитель –

**Шаршунов Вячеслав Алексеевич**, доктор технических наук, профессор, заслуженный деятель науки Республики Беларусь, член-корреспондент Национальной академии наук Беларуси, профессор кафедры техносферной безопасности и общей физики учреждения образования «Белорусский государственный университет пищевых и химических технологий».

Официальные оппоненты:

**Азаренко Владимир Витальевич**, доктор технических наук, доцент, член-корреспондент Национальной академии наук Беларуси, академик-секретарь Отделения аграрных наук Национальной академии наук Беларуси;

**Астахов Василий Сергеевич**, доктор технических наук, доцент, профессор кафедры механизации растениеводства и практического обучения УО БГСХА.

Оппонирующая организация –

РУП «Научно-практический центр НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства».

Защита состоится «03» марта 2023 г. в 11:00 часов на заседании совета по защите диссертаций Д 05.30.02 при учреждении образования «Белорусская государственная орденов Октябрьской Революции и Трудового Красного Знамени сельскохозяйственная академия» по адресу: 213407, ул. Мичурина, 5, корпус 8, ауд. 334, г. Горки, Могилевская обл., Республика Беларусь. E-mail: kancel@baa.by, телефон ученого секретаря: (02233) 7-97-25.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке УО БГСХА.

Автореферат разослан «19» января 2023 г.

Ученый секретарь совета  
по защите диссертаций  
кандидат технических наук, доцент

С. В. Курзенков

## ВВЕДЕНИЕ

Основные издержки производства льна-долгунца, качество и потери льнопродукции определяет уборочный цикл. В нем формируется до половины затрат производства. Он объединяет три важнейшие и взаимосвязанные технологические операции: собственно уборку растений (стеблей и семян), приготовление и послеуборочную обработку тресты и семенного льновороха.

Существенной проблемой уборки является противоречие между двумя целями: получением льноволокна и семян высокого качества, что обусловлено неодновременным наступлением физиологической спелости волокна и семян. Волокно высокого качества получают в фазах зеленой и ранней желтой спелости, а семена – в фазах желтой и бурой спелости.

Основополагающим технологическим процессом получения семян является отделение семенной части урожая льна от стеблей. От уровня его совершенства зависят величина урожая семян и волокна, размер потерь, качество льнопродукции, трудоемкость и энергоемкость сушки и обработки льновороха [14, 16].

### ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Связь работы с научными программами и темами.** Диссертационная работа выполнена в соответствии с Государственной программой прикладных научных исследований на 2011–2015 годы (раздел 7. Машиностроение. Системы и комплексы сельскохозяйственных машин. Контроль и диагностика в машиностроении). Исследования по диссертационной работе проводились в рамках хоздоговорной темы № 35/4 «Разработать и освоить в производстве обмолачивающее устройство для линии первичной переработки льна на отечественных льнозаводах», № госрегистрации 20111830, в 2010 году, хоздоговорной темы № 315 «Исследование процесса взаимодействия различных типов рабочих органов с льнотрестой и льноволокном», № госрегистрации 20143309, в 2014–2015 годах.

**Цель и задачи исследования.** Целью исследований является повышение степени обмолота лент льнотресты, снижение повреждения семян и стеблей за счет применения очесывающе-плющильного аппарата в линии первичной переработки льна, теоретическое и экспериментальное обоснование его основных параметров и режимов работы.

Для достижения поставленной цели необходимо:

– обосновать конструктивно-технологическую схему очесывающе-плющильного аппарата, обеспечивающего повышение качества процесса обмолота лент льнотресты в линии первичной переработки;

– теоретически исследовать процесс обмолота лент льнотресты разрабатываемым аппаратом, проведя анализ его основных параметров и режимов работы с учетом свойств объекта обработки;

– экспериментально уточнить и подтвердить достоверность результатов теоретических исследований рабочего процесса обмолота лент льнотресты и параметров обмолачивающего устройства;

– определить параметр оптимизации, выявить действующие факторы и по результатам опытов получить математическую модель, адекватно описывающую процесс обмолота;

– провести производственные испытания очесывающе-плющильного аппарата и определить экономическую эффективность его использования.

**Научная новизна.** Определены аналитические зависимости, позволяющие моделировать параметры слоя стеблей льнотресты в зоне обмолота с учетом количества стеблей льна, их конусности и диаметра комлевой части, а также характер деформаций семенной коробочки в зависимости от ее диаметра, величины поперечной деформации, количества и размеров семян. Получены параметрические уравнения, позволяющие связать конструктивные параметры исследуемого обмолачивающего устройства с кинематическими параметрами движения его основных звеньев. Установлены зависимости для определения геометрических параметров рабочего органа с учетом уплотняющей и проникающей его способности. Получена математическая модель степени обмолота, адекватно описывающая процесс обмолота лент льнотресты в зависимости от частоты вращения рабочего органа, скорости подачи ленты льнотресты и зазора между бичом и декой. Разработана номограмма для определения технологических параметров и режимов работы очесывающе-плющильного аппарата.

#### **Положения, выносимые на защиту:**

– результаты теоретических исследований параметров слоя стеблей льнотресты в зоне обмолота, характера деформаций семенной коробочки льна, геометрических параметров рабочего органа, конструктивных параметров кривошипно-шатунного механизма с коромыслом, технологических параметров процесса обмолота, позволяющие определить значения и границы варьирования основных, влияющих на процесс обмолота факторов;

– зависимости изменения силы упругости от величины деформации семенной коробочки льна, а также относительного удлинения стебля льнотресты от величины деформируемого участка, позволяющие определить характер разрушения семенной коробочки и граничные значения скорости подаваемой на обмолот ленты;

– уравнение регрессии, устанавливающее зависимость степени обмолота от частоты вращения рабочего органа, скорости подачи ленты льнотресты и зазора между бичом и декой;

– результаты производственных испытаний и расчета экономической эффективности применения очесывающе-плющильного аппарата в линии первичной переработки льна.

**Личный вклад соискателя.** Обоснованы конструктивные и технологические параметры очесывающе-плющильного аппарата; получены зависимости изменения силы упругости семенной коробочки льна от величины ее деформации; получены зависимости изменения относительного удлинения стеблей льнотресты от величины деформируемого участка; разработана установка для проведения экспериментальных исследований; проведены экспериментальные исследования, и получено уравнение регрессии, описывающее процесс обмолота лент льнотресты разработанным обмолачивающим устройством; обработаны и проанализированы полученные результаты; сделаны доклады на научных конференциях; изданы монография и статьи; получены патенты Республики Беларусь на полезные модели.

**Апробация диссертации и информация об использовании ее результатов.**

Основные результаты исследований по теме диссертации доложены и одобрены на X Международной научно-технической конференции «Исследования и разработки в области машиностроения, энергетики и управления» (г. Гомель, 2010 г.); Международной научно-практической конференции молодых ученых «Молодежь и инновации – 2011» (г. Горки, 2011 г.); Международной научно-технической конференции «Новые материалы, оборудование и технологии в промышленности» (г. Могилев, 2011 г.); Международной научно-практической конференции молодых ученых «Молодежь и инновации – 2013» (г. Горки, 2013 г.); Международной научно-технической конференции «Конструирование, использование и надежность машин сельскохозяйственного назначения» (г. Брянск, 2014 г.); Международной научно-технической конференции «Новые материалы, оборудование и технологии в промышленности» (г. Могилев, 2016 г.); Международной научно-практической конференции «Инновационные решения в технологиях и механизации сельскохозяйственного производства» (г. Горки, 2020 г.).

**Опубликованность результатов диссертации.** По теме диссертационной работы опубликовано 39 печатных работ объемом 20,9 авторского листа, в том числе: монография объемом 9,07 авторского листа; 17 печатных работ объемом 7,84 авторского листа опубликовано в научных журналах и сборниках, входящих в перечень ВАК Республики Беларусь; 15 – в сборниках материалов и тезисов научных конференций объемом 3,37 авторского листа; 6 патентов Республики Беларусь на полезную модель объемом 0,62 авторского листа; 6 печатных работ объемом 1,51 авторского листа опубликовано без соавторов.

**Структура и объем диссертации.** Диссертационная работа состоит из введения, общей характеристики работы, основной части из пяти глав, заключения, библиографического списка и приложений, включающих результаты экспериментальных исследований, копии документов об апробации и внедрении полученных

результатов. Полный объем диссертации составляет 236 страниц и включает в себя 72 рисунка, 10 таблиц, библиографический список из 128 источников, перечень 39 публикаций автора, а также приложения на 60 страницах.

## ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

**Во введении** охарактеризована проблема уборки и первичной переработки льна-долгунца, обоснована актуальность исследований машин и оборудования для отделения семенной части от стеблей в линии первичной переработки льна.

**В первой главе** «Состояние вопроса, цель и задачи исследований» в результате анализа технологий уборки льна установлена специфика уборки льна по заводской технологии, которая предусматривает отделение семенной части урожая от стеблей льна на льнозаводах в линиях первичной переработки «Van Dommelle» или «Depoortere». Она позволяет начать уборку льна на 10...12 дней раньше, повысить номерность льнотресты и, соответственно, льноволокна, снизить прямые эксплуатационные затраты на 10...15 % [3, 20].

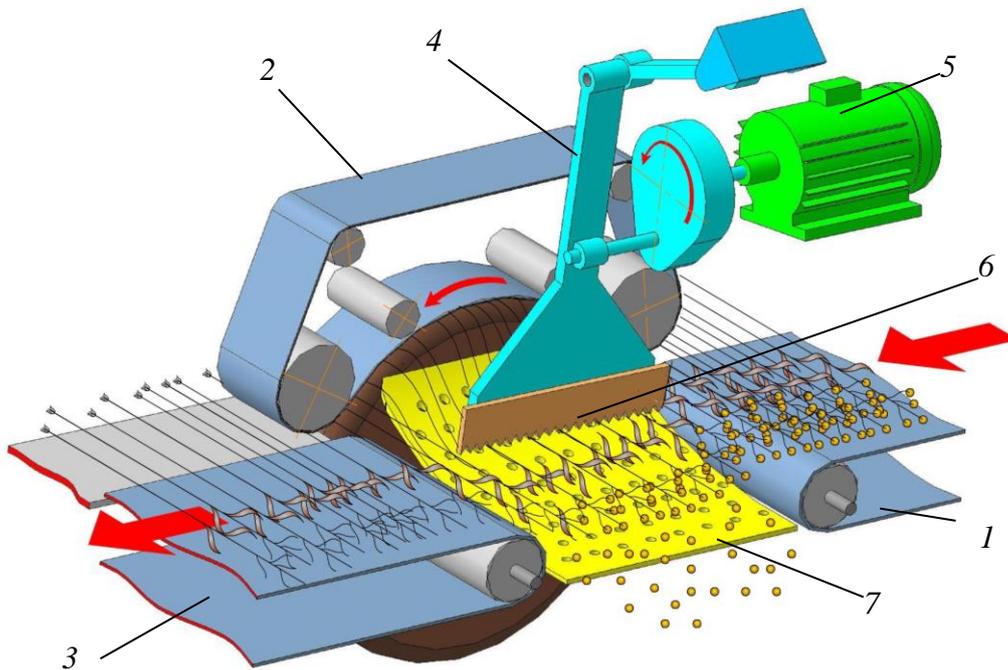
В линиях используются очесывающие аппараты гребневого типа, работа которых на льняной тресте, получаемой отечественными льнозаводами, сопровождается: повреждением стеблей (до 6 %), отходом стеблей в путанину (до 8 %), высокой повреждаемостью семян (до 3 %), намотками стеблей на рабочий орган [2, 5]. Это вызвано непригодностью используемых аппаратов к дефектам ленты льнотресты, поступающей на очес (относительный перекося стеблей в ленте, растянутость и скрутки).

На основании проведенного анализа известных конструкций устройств для отделения семенной части от стеблей льна [5, 20, 29] предложена схема обмолачивающего устройства (рисунок 1), сочетающая комбинированное (очесывающее и плющильное) воздействие рабочего органа на обрабатываемый материал.

Аппарат включает подающий транспортер льнотресты 1, ленточно-дисковый зажимной транспортер 2 и устройство для отделения семенных коробочек от стеблей льнотресты, состоящее из эластичного рабочего органа (бича) 6 с зубчатой нижней кромкой и сепарирующей решетки (деки) 7. Сепарирующая решетка 7 установлена относительно эластичного рабочего органа 6 с регулируемым зазором. В качестве материала рабочего органа был выбран полиуретан марки Адипрен 167 [34, 36, 38].

Устройство работает следующим образом. Лента льнотресты подводится подающим транспортером 1 к зажимному транспортеру 2, который перемещает ее через зону обмола, где за счет удара эластичного рабочего органа 6 по стеблям и протаскивания их через молотильный зазор, образуемый бичом и декой, происходит отделение семенных коробочек. Обмолачивающее воздействие эластичного рабочего органа на обрабатываемую ленту льнотресты приводит к разрушению

связей между коробочками и стеблями, смятию коробочек и их разрушению с выделением семян [1, 2].



**1** – подающий транспортер; **2** – зажимной транспортер; **3** – отводящий транспортер;  
**4** – кривошипно-шатунный механизм с коромыслом; **5** – электродвигатель;  
**6** – эластичный рабочий орган (бич); **7** – сепарирующая решетка (дека).

**Рисунок 1.** – Схема обмолачивающего устройства

На основании анализа состояния изученности процесса отделения семенной части от стеблей льна сформулирована цель работы, для достижения которой определены основные задачи теоретических и экспериментальных исследований и их практическая реализация.

**Во второй главе** «Теоретическое обоснование параметров очесывающе-плющильного аппарата линии первичной переработки льна» проведен теоретический анализ процесса обмолота и обоснованы параметры очесывающе-плющильного аппарата.

Поскольку качество обмолота напрямую зависит от параметров обрабатываемого объекта, то были определены площадь и объем зоны воздействия бича на ленту льнотресты [12].

Площадь зоны материала, находящегося под периодическим воздействием бича,

$$S_{p.z} = b_6 \cdot \sqrt{L_{ст}^2 + (h_в - h_к)^2}, \quad (1)$$

где  $b_6$  – ширина бича, м;

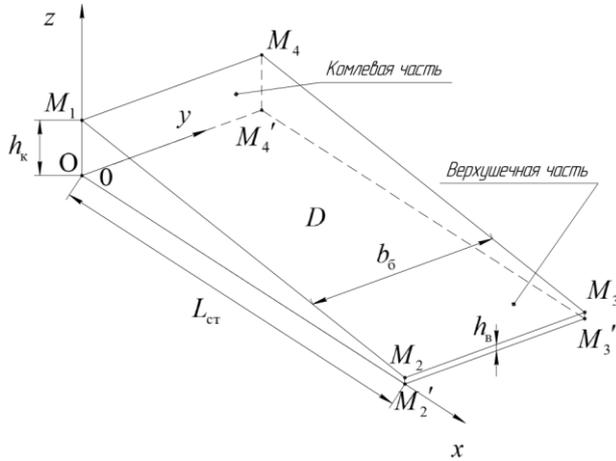


Рисунок 2. – Схема к определению площади и объема зоны воздействия бича на ленту льнотресты

$$V_{p.з} = \int_0^{b_0} dy \cdot \int_0^{L_{ct}} \left( \frac{h_B - h_K}{L_{ct}} \cdot x + h_K \right) dx = \frac{b_0 \cdot L_{ct} \cdot (h_B - h_K)}{2}. \quad (2)$$

Поскольку обмолот предполагает выделение именно семенной части, то при исследовании рассматривался процесс разрушения семенных коробочек льна. Семенная коробочка льна была представлена как упругое тело (рисунок 3), и были получены зависимости для определения изменений координат точек поверхности при ее сжатии [14].

Определить значения деформаций семенной коробочки льна, представленной в виде шара, для выбранной точки  $M$  можно по зависимостям:

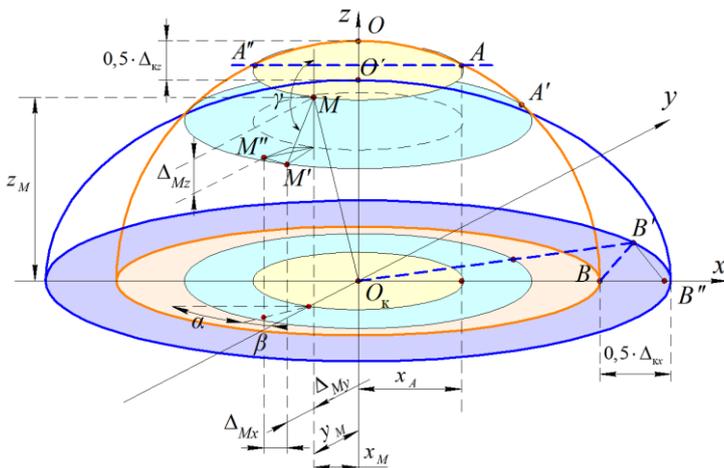


Рисунок 3. – Схема к определению изменений координат точек поверхности семенной коробочки льна при ее сжатии

направлении оси  $O_k z$  пространственной декартовой системы координат, м;

$\vec{\Delta}_M$  – вектор деформации в произвольной точке  $M$ .

$L_{ct}$  – участок стебля, подвергаемый воздействию бича, м;

$h_B$  – толщина слоя стеблей у верхушечной части, м;

$h_K$  – толщина слоя стеблей у комлевой части, м.

Объем зоны материала, находящегося под периодическим воздействием бича,

$$\Delta_{Mx} = \cos(\alpha) \cdot |\vec{\Delta}_M| = \frac{\Delta_{kz} \cdot \sin(\gamma)}{2\sqrt{2}}; \quad (3)$$

$$\Delta_{My} = \cos(\beta) \cdot |\vec{\Delta}_M| = \frac{\Delta_{kz} \cdot \sin(\gamma)}{2\sqrt{2}}; \quad (4)$$

$$\Delta_{Mz} = \cos(\gamma) \cdot |\vec{\Delta}_M| = \frac{\Delta_{kz}}{2} \cdot \cos(\gamma), \quad (5)$$

где  $\alpha, \beta, \gamma$  – углы, образованные вектором соответственно с положительным направлением осей  $O_k x, O_k y, O_k z$ , рад;

$\Delta_{kz}$  – деформация коробочки в

Так как координаты  $x_{M'}$ ,  $y_{M'}$ ,  $z_{M'}$  лежат на эллипсоиде, то подчиняются равенству

$$\frac{x^2}{\left(\frac{d_k}{2} + \frac{\Delta_{kx}}{2}\right)^2} + \frac{y^2}{\left(\frac{d_k}{2} + \frac{\Delta_{ky}}{2}\right)^2} + \frac{z^2}{\left(\frac{d_k}{2} - \frac{\Delta_{kz}}{2}\right)^2} = 1, \quad (6)$$

где  $d_k$  – диаметр семенной коробочки льна, м;

$\Delta_{kx}$ ,  $\Delta_{ky}$  – деформации коробочки в направлениях осей  $O_{kx}$  и  $O_{ky}$  пространственной декартовой системы координат, м.

Полученные зависимости (3)–(6) позволяют определить деформации и механическое напряжение в любой точке семенной коробочки льна при ее поперечном сжатии. Это, в свою очередь, позволит, используя закон Гука, установить предельные механические напряжения для разрушения семенной коробочки и выделения из нее семян.

При определении формы и геометрических параметров рабочей кромки бича исходили из эффективной уплотняющей ( $\epsilon_6 > 1$ ) и проникающей ( $h_{п} \rightarrow h_{ст}$ ) его способностей. Анализ данных условий показал, что наиболее целесообразно использовать зубчатую треугольную форму рабочей кромки [15].

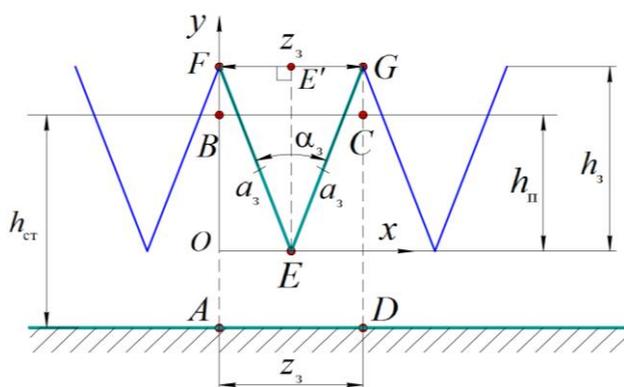


Рисунок 4. – Схема к определению уплотняющей способности бича и параметров зуба

Уплотняющую способность бича, согласно схеме (рисунок 4), можно определить как

$$\epsilon_6 = \frac{V_{и}}{V_{д}} = \frac{2 \cdot h_{ст}}{2 \cdot (h_{ст} - h_{п}) + h_з}, \quad (7)$$

где  $V_{и}$  – объем материала, находящегося в зоне контакта бича с лентой до его деформации,  $m^3$ ;

$V_{д}$  – объем материала, находящегося в зоне контакта бича с лентой после его

деформации,  $m^3$ ;

$h_{ст}$  – высота слоя стеблей в зоне контакта бича со стеблями льна, м;

$h_{п}$  – глубина погружения бича в слой стеблей, м;

$h_з$  – высота зуба бича, м.

Максимально возможная высота зуба рабочей кромки бича не должна превышать

$$\lim_{h_{\text{п}} \rightarrow h_{\text{ст}}} \varepsilon_6(h_{\text{п}}) = \lim_{h_{\text{п}} \rightarrow h_{\text{ст}}} \frac{2 \cdot h_{\text{ст}}}{2 \cdot (h_{\text{ст}} - h_{\text{п}}) + h_3} = \frac{2 \cdot h_{\text{ст}}}{h_3}. \quad (8)$$

Высоту зуба можно определить по зависимости

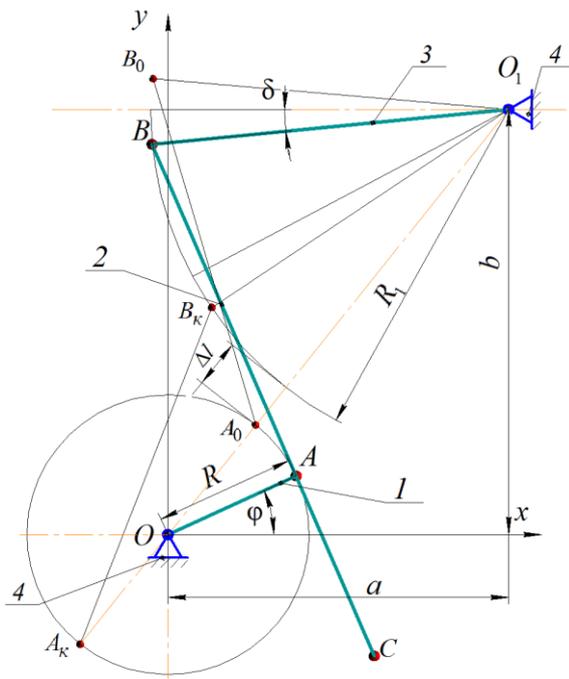
$$h_3 = \frac{z_3}{2 \cdot \operatorname{tg}\left(\frac{\alpha_3}{2}\right)}, \quad (9)$$

где  $\alpha_3$  – угол при вершине зуба бича, рад;

$z_3$  – основание зуба бича, м.

Зависимости (7), (8) и (9) позволили установить диапазоны рационального изменения параметров зуба: угла  $\alpha_3$  – от 5 до 40°; высоты зуба  $h_3$  – от 10 до 50 мм.

Основополагающим действием в процессе выделения семян льна очесываю-



1 – кривошип; 2 – шатун;  
3 – коромысло; 4 – стойка.

Рисунок 5. – Схема кривошипно-шатунного механизма привода с коромыслом

ще-плющильным аппаратом в линии первичной переработки является движение рабочего органа, от кинематических параметров которого зависит эффективность его работы. Кинематика рабочего органа, в свою очередь, определяется параметрами звеньев механизма его привода. Поэтому рассмотрим движение составляющих звеньев предлагаемого кривошипно-шатунного механизма с коромыслом с привязкой его к декартовой системе координат (рисунок 5).

Установлено, что траектория движения бича, определяемая координатой точки C, представляет собой систему параметрических уравнений

$$\begin{cases} x_C(t) = \frac{(l+l_1) \cdot R \cdot \cos(\omega t) - l_1 \cdot (a - R_1 \cdot \cos(\delta(t)))}{l}; \\ y_C(t) = \frac{(l+l_1) \cdot R \cdot \sin(\omega t) - l_1 \cdot (b + R_1 \cdot \sin(\delta(t)))}{l}, \end{cases} \quad (10)$$

где  $\omega$  – угловая скорость вращения кривошипа OA, рад/с;

$t$  – время, с;

$R$  – длина кривошипа  $OA$ , м;

$R_1$  – длина коромысла  $BO_1$ , м;

$a$  – горизонтальное смещение точки  $O_1$  относительно центра вращения кривошипа  $O$ , м;

$b$  – вертикальное смещение точки  $O_1$  относительно центра вращения кривошипа  $O$ , м;

$\delta$  – угол поворота коромысла относительно горизонтали, рад;

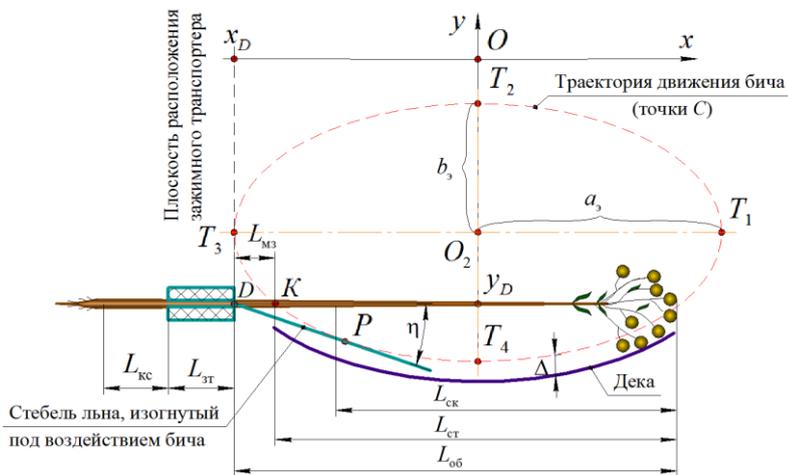
$\delta(t)$  – функциональная зависимость угла поворота коромысла относительно горизонтали, рад;

$l$  – длина участка  $AB$  шатуна 2, м;

$l_1$  – длина участка  $AC$  шатуна 2, м.

Полученная система параметрических уравнений (10) позволила связать конструктивные параметры исследуемого обмолачивающего устройства с кинематическими параметрами движения его основных звеньев [4].

От взаимного расположения рабочих органов обмолачивающего устройства



$L_{кз}$  – комлевая часть стебля;  $L_{зт}$  – участок стебля в зажимном транспортере;  $L_{мз}$  – «мертвая» зона;  $L_{ст}$  – участок стебля, подвергаемый воздействию бича;  $L_{об}$  – длина стебля, выступающего из зажимного транспортера;  $L_{ск}$  – участок стебля, содержащий семенные коробочки.

Рисунок 6. – Схема к определению параметров взаимного расположения рабочих органов обмолачивающего устройства

(рисунок 6) зависит не только эффективность обмолота, но и работоспособность механизма в целом. Поэтому для выполнения условия свободного движения бича, минимального значения величины «мертвой» зоны (участок стебля, не подвергаемый воздействию рабочего органа) и допустимой предельной величины изгиба ленты стеблей льнотресты были установлены параметры расстановки основных элементов обмолачивающего устройства и определены координаты характерных точек [17].

Координаты точки  $P$

$$x_P = x_C(t_P); \quad y_P = y_C(t_P), \quad (11)$$

где  $t_P$  – время, при котором точка  $C$  траектории движения бича перейдет в точку контакта  $P$  со стеблями, с.

Координаты точки  $D$

$$x_D = x_C \left( \frac{t_K}{2} \right); \quad y_D = \operatorname{tg}(\eta) \cdot (x_P - x_D) + y_P, \quad (12)$$

где  $t_K$  – время, за которое точка  $C$  совершает один цикл движения, с;  
 $\eta$  – угол изгиба стебля льна, рад.

Координаты точки  $K$

$$x_K = x_C(t_{DK}); \quad y_K = y_C(t_{DK}), \quad (13)$$

где  $t_{DK}$  – время, за которое точка  $C$  переходит в точку  $K$ , с.

Величина участка стебля (м), не подвергаемого воздействию бича («мертвая» зона), определится по зависимости

$$L_{\text{мз}} = x_K - x_D. \quad (14)$$

Длина рабочего участка (м), на котором может происходить обмолот стеблей

$$l_{\text{вз}} = \int_{t_{DK}}^{t_K} \sqrt{(x'_C(t))^2 + (y'_C(t))^2} dt. \quad (15)$$

Геометрическая форма сепарирующей решетки (деки) должна повторять конфигурацию траектории движения бича на участке рабочего хода, при этом самому деку необходимо сместить вниз от траектории движения бича на величину молотильного зазора.

Минимальный зазор между бичом и декой (м) определится зависимостью

$$\Delta_{\min} = 2 \cdot \sqrt[3]{\frac{3}{4} \cdot \frac{V_{\text{с.общ}}}{\pi}}, \quad (16)$$

где  $V_{\text{с.общ}}$  – суммарный объем, занимаемый в коробочке льна семенами, м<sup>3</sup> [16].

Качество процесса обмолота – это еще и отсутствие повреждения стеблей льнотресты. Поскольку существует опасность обрыва стеблей льнотресты в начале взаимодействия бича с обрабатываемой лентой, то была получена зависимость для определения критической скорости движения ленты льнотресты с учетом относительного удлинения участка стеблей, расположенного в «мертвой» зоне, а также времени от момента начала воздействия бича на стебли до возможного их обрыва [10].

$$v_{II} \leq \frac{\sqrt{((\epsilon_{ст} + 1) \cdot \Delta_2)^2 - \Delta_2^2}}{\Delta t}, \quad (17)$$

где  $\epsilon_{ст}$  – относительное удлинение стебля льнотресты;

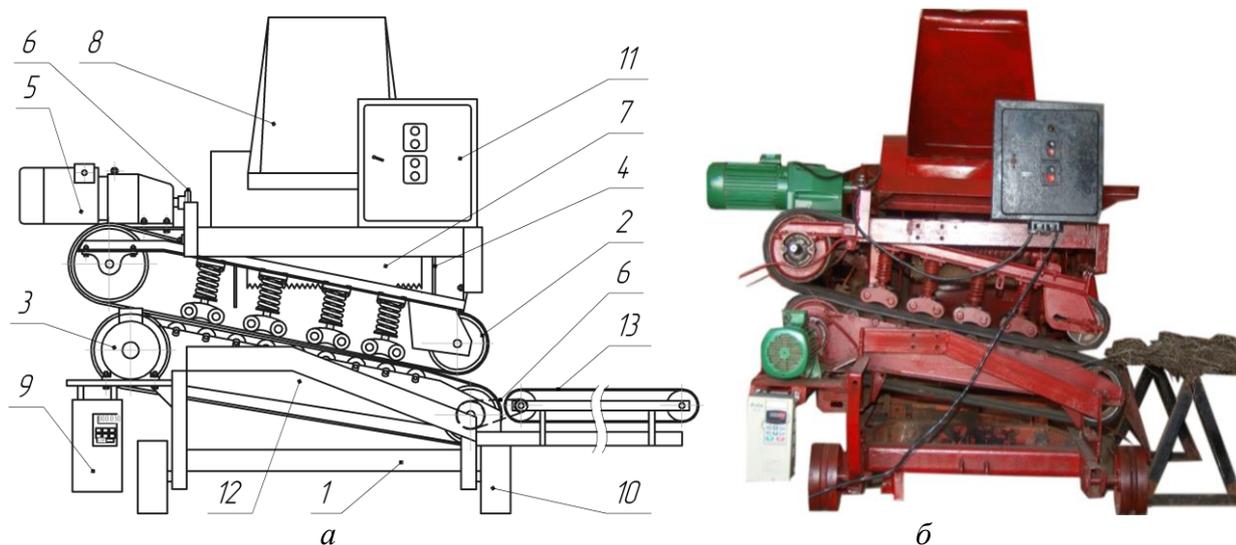
$\Delta_2$  – расстояние от зажимного транспортера до точки  $K$  (начало воздействия бича на ленту) (см. рисунок 6), м;

$\Delta t$  – время удержания стеблей бичом от момента начала зажатия до возможного их обрыва, с.

Результаты теоретических исследований параметров слоя стеблей льнотресты в зоне обмолота, характера деформации семенной коробочки льна, геометрических параметров рабочего органа, конструктивных параметров рычажного механизма, технологических параметров процесса обмолота позволяют определить значения и границы варьирования основных, влияющих на процесс обмолота факторов.

В третьей главе «Программа и методика экспериментальных исследований» приведены методики определения угла изгиба и относительного удлинения стеблей при разрыве, деформаций коробочки льна, рационального значения высоты зуба рабочей поверхности бича, программа проведения лабораторных и производственных исследований.

Для проведения лабораторных исследований была изготовлена лабораторная установка (рисунок 7).

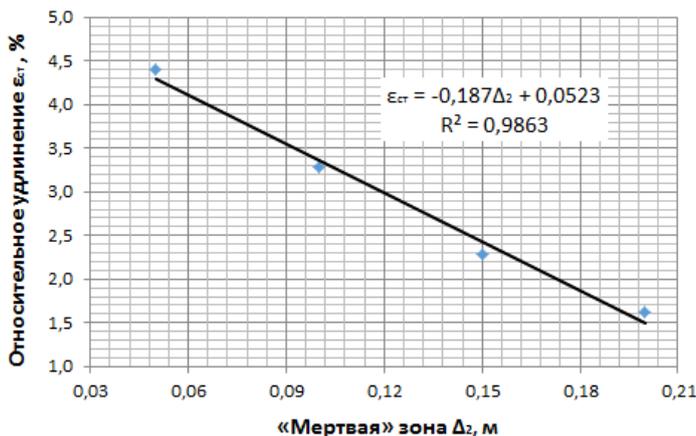


***a*** – схема лабораторной установки; ***б*** – общий вид лабораторной установки;  
**1** – рама; **2** – зажимной транспортер; **3, 5** – мотор-редуктор; **4** – барабан;  
**6** – цепная передача; **7** – эластичный рабочий орган (бич); **8** – камера обмолота;  
**9** – преобразователь частоты; **10** – колеса; **11** – пульт управления;  
**12** – сепарирующая решетка (дека); **13** – подающий транспортер.  
**Рисунок 7.** – Схема и общий вид лабораторной установки

Конструкция лабораторной установки позволяла в необходимых пределах изменять выбранные параметры. Факторное пространство формировалось на основании априорной информации, анализа литературных источников, а также проведенных теоретических исследований [11].

В результате исследований были приняты следующие факторы и определены их верхние и нижние границы: скорость подачи ленты льнотресты – 1,2...2,0 м/с; смещение ленты льнотресты относительно обмолачивающего устройства – -0,1...+0,1 м; зазор между бичом и декой – 0,005...0,03 м; угол установки плоскости бича к плоскости ленты – 0,52...1,22 рад (30...70°); толщина слоя ленты льнотресты – 0,01...0,05 м; частота вращения рабочего органа – 1,7...3,3 с<sup>-1</sup>. В качестве результирующего параметра была принята степень обмолота ( $E_{об}$ ) [11].

В четвертой главе «Результаты экспериментальных исследований» приведены результаты экспериментальных исследований угла отгиба и относительного удлинения стеблей при обрыве, деформаций коробочки льна и процесса обмолота лент льнотресты очесывающе-плющильным аппаратом.



**Рисунок 8.** – График зависимости относительного удлинения  $\varepsilon_{ст}$  стебля от «мертвой» зоны  $\Delta_2$



**Рисунок 9.** – Изменение силы упругости коробочки от поперечной деформации

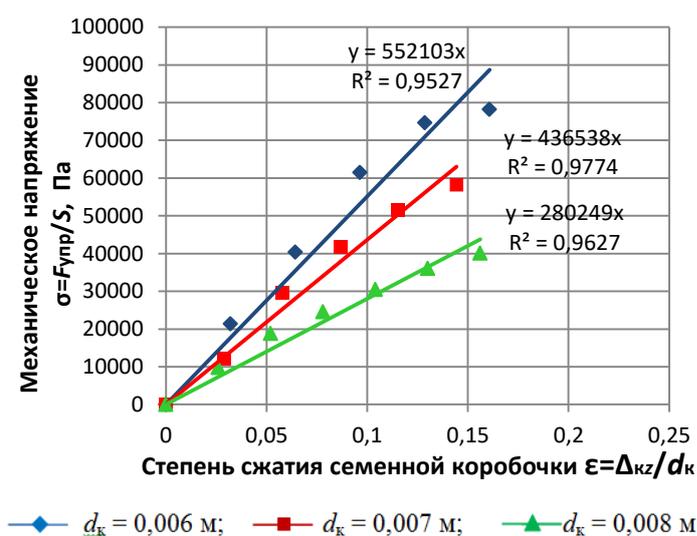
В ходе исследований относительного удлинения стеблей льнотресты установлено, что на участке стебля от 0,05 до 0,20 м при используемом способе нагружения его относительное удлинение имеет линейную зависимость от «мертвой» зоны  $\Delta_2$  и описывается уравнением  $\varepsilon_{ст} = -0,187 \cdot \Delta_2 + 0,0523$ , коэффициент детерминации  $R_2 = 0,9863$ . Из графика (рисунок 8) видно, что с увеличением  $\Delta_2$  относительное удлинение стебля уменьшается, что

связано с неоднородностью строения стебля льнотресты, повышающейся в процессе уборки из-за многократного воздействия на него рабочих органов.

В результате проведенных исследований по определению деформаций семенных коробочек льна

были получены данные, указывающие на взаимосвязь поперечной деформации  $\Delta_{кз}$  семенной коробочки и силы упругости  $F$ . На основании полученных данных для средних значений деформации и сил упругости получена графическая зависимость (рисунок 9) [14].

Для изучения участка, соответствующего упругой деформации семенной коробочки, была произведена группировка семенных коробочек по диаметру: 0,006, 0,007 и 0,008 м. Полученные данные были аппроксимированы линейными зависи-



**Рисунок 10.** – Зависимости механического напряжения от степени сжатия семенных коробочек при различных их диаметрах

В ходе однофакторных поисковых экспериментов по определению рациональных значений высоты зубьев рабочей кромки бича установлено, что условиям, предусмотренным регламентом (степени обмолота не менее 0,98 и степени повреждения стеблей льна не более 3,0 %), удовлетворяет величина зубьев 10...20 мм. В дальнейших исследованиях эта величина фиксировалась на уровне 15 мм [15].

Однофакторные поисковые исследования по уточнению рациональной формы (прямая, параболическая и зубчатая) рабочей кромки эластичного бича показали, что эластичный рабочий орган с треугольной зубчатой рабочей кромкой имеет наилучшие показатели степени обмолота при изменении всех других контролируемых факторов.

Проведенные поисковые эксперименты обмолачивающего устройства позволили определить рациональные интервалы варьирования факторов при обмолоте лент льнотресты: скорости подачи ленты льнотресты  $v_{л} = 1,2...1,6$  м/с; смещения ленты льнотресты относительно обмолачивающего устройства  $L_{л} = -0,02...+0,03$  м; зазора между бичом и декой  $\Delta = 0,01...0,015$  м; толщины

симостями и представлены в виде графика (рисунок 10).

Установлено, что расчетное значение модуля Юнга для семенной коробочки льна в зависимости от ее размеров изменяется от 0,28 до 0,55 МПа.

Также установлено, что для различных значений диаметра семенных коробочек льна ( $d_k = 0,0056...0,0078$  м) величина их поперечной деформации  $\Delta_{кз}$  до разрушения составляет от 0,0006 до 0,0022 м [14].

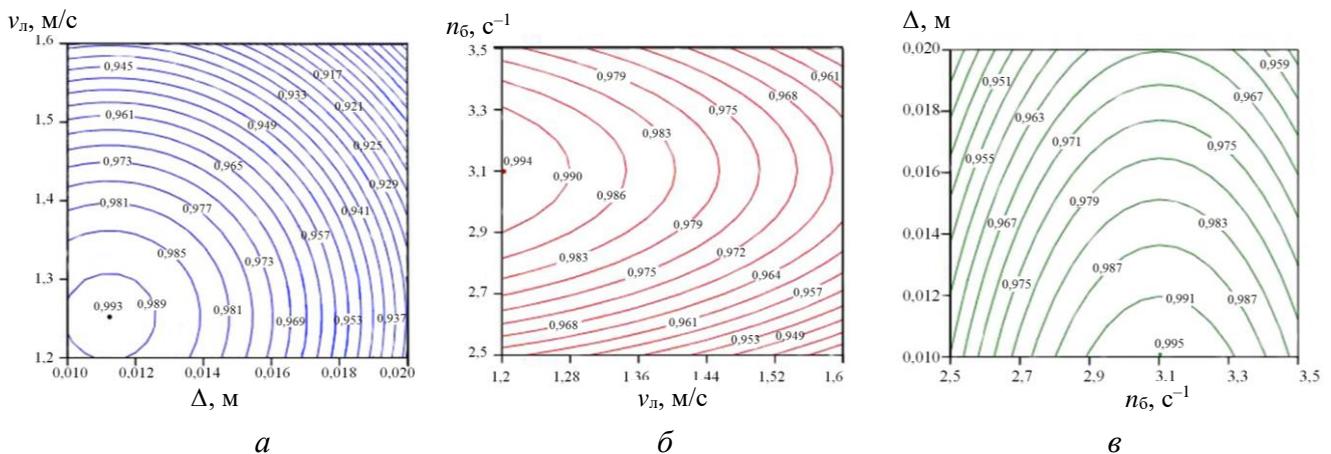
слоя ленты льнотресты  $h_{\text{л}} = 0,01 \dots 0,03$  м; частоты вращения рабочего органа  $n_{\text{б}} = 2,7 \dots 3,2$  с<sup>-1</sup>; угла установки плоскости бича к плоскости ленты  $\alpha_{\text{б}} = 0,85 \dots 1,1$  рад [11].

После проведения отсеивающего эксперимента и крутого восхождения были определены наиболее значимые факторы, влияющие на процесс обмолота лент льнотресты очесывающе-плющильным аппаратом (частота вращения рабочего органа; скорость подачи ленты льнотресты; зазор между бичом и декой). Получено уравнение регрессии степени обмолота, адекватно описывающее данный процесс (проверка соответствия производилась по критерию Фишера) [7].

$$E_{\text{об}} = 0,7936 + 0,3438 \cdot v_{\text{л}} - 5,675 \cdot \Delta + 0,00278 \cdot n_{\text{б}} + 3,25 \cdot \Delta \cdot v_{\text{л}} - 0,0675 \cdot n_{\text{б}} \cdot v_{\text{л}} - 0,2 \cdot n_{\text{б}} \cdot \Delta - 0,075 \cdot v_{\text{л}}^2 + 10 \cdot \Delta^2 + 0,017 \cdot n_{\text{б}}^2. \quad (18)$$

На основании уравнения регрессии второго порядка (18) определены координаты оптимума и изучены свойства поверхностей отклика в окрестностях оптимума. Для каждого параметра определены оптимальные значения.

Двумерные сечения (рисунок 11) построены по выражению (18) для параметра степени обмолота.



*a* –  $v_{\text{л}}$  и  $\Delta$ ; *б* –  $n_{\text{б}}$  и  $v_{\text{л}}$ ; *в* –  $\Delta$  и  $n_{\text{б}}$ .

**Рисунок 11.** – Двумерные сечения поверхности отклика степени обмолота

Рассмотрение двумерных сечений поверхности отклика показывает, что исследуемые факторы оказывают существенное влияние на критерий оптимизации, а их рациональные значения находятся в следующих пределах: скорость подачи ленты льнотресты – 1,2...1,3 м/с; зазор между бичом и декой – 0,010...0,012 м; частота вращения рабочего органа – 2,9...3,3 с<sup>-1</sup> [8].

Нахождение оптимальных значений показателей изучаемого процесса сводили к решению задачи двойственным симплекс-методом в Microsoft Excel с помощью надстройки «Поиск решения».

Целевая функция

$$E_{об} = 0,7936 + 0,3438 \cdot v_{л} - 5,675 \cdot \Delta + 0,0028 \cdot n_6 + 3,25 \cdot \Delta \cdot v_{л} - 0,0675 \cdot n_6 \cdot v_{л} - 0,2 \cdot n_6 \cdot \Delta - 0,075 \cdot v_{л}^2 + 10 \cdot \Delta^2 + 0,017 \cdot n_6^2 \rightarrow \max \quad (19)$$

при ограничениях, полученных в результате движения по градиенту:

$$2,5 \leq n_6 \leq 3,5;$$

$$0,01 \leq \Delta \leq 0,02;$$

$$1,2 \leq v_{л} \leq 1,6.$$

Степень обмолота  $E_{об} = 0,995$  достигается при оптимальных значениях основных факторов: скорости подачи ленты льнотресты – 1,25 м/с; зазора между бичом и декой – 0,01 м; частоты вращения рабочего органа – 3,09 с<sup>-1</sup> [7].

**В пятой главе** «Реализация результатов исследований и расчет экономической эффективности» приведены результаты сравнительных испытаний серийного и предлагаемого обмолачивающих устройств. Применение очесывающе-плющильного аппарата позволяет увеличить степень обмолота с 0,820 до 0,988, снизить повреждение семян с 1,5 до 1 %, уменьшить повреждение стеблей, влияющее на выход длинного волокна, с 5 до 1,9 % и снизить отход стеблей в путанину с 8 до 2 %, что соответствует агротехническим требованиям [9, 33].

По результатам исследований в 2010 году получен акт о практическом использовании результатов исследований в ОАО «Дубровенский льнозавод». В 2014 году результаты исследований по диссертационной работе рассмотрены конструкторским бюро ОАО «Калинковичский ремонтно-механический завод» и приняты к использованию при модернизации линии ЛВДЛ-2500. В 2019 году проведена оценка возможности использования обмолачивающего устройства с эластичным рабочим органом в ОАО «Ореховский льнозавод» в линии первичной переработки «Deportere». В 2022 году результаты исследований рассмотрены и одобрены научным советом РУП «Институт льна» НАН Беларуси и рекомендованы к использованию в линиях первичной переработки, оборудованных очесывающими аппаратами. В 2022 году результаты исследований по диссертационной работе рассмотрены и одобрены научно-техническим советом Центра научно-технических разработок ОАО «Управляющая компания холдинга «Бобруйскагро-маш» и приняты к использованию при проектировании новых машин для уборки и первичной переработки льна.

Разработана номограмма, которая позволяет в упрощенной форме определить технологические параметры и режимы работы обмолачивающего устройства, исходя из качества подаваемой на обмолот ленты льнотресты и требуемой степени обмолота с учетом заданной производительности линии первичной переработки льна [18].

Приведен расчет экономической эффективности внедрения очесывающе-плющильного аппарата в линии первичной переработки льна. Расчетный годовой

экономический эффект от его внедрения составил 64161 рубль, а экономический эффект в расчете на одну тонну переработанной льнотресты – 41,94 рубля, в масштабе цен первого квартала 2022 года [18].

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

### Основные научные результаты диссертации

1. Определены аналитические зависимости, позволяющие определить площадь и объем слоя ленты льнотресты, находящегося под периодическим воздействием эластичного рабочего органа в зоне обмолота, исходя из ширины бича, длины стеблей и толщины ленты. Получены уравнения, позволяющие определить значения деформаций и механического напряжения в различных точках оболочки семенной коробочки льна в зависимости от диаметра семенной коробочки льна и величины поперечной деформации. Получена математическая модель для определения минимального допустимого зазора между бичом и декой (0,005 м) исходя из размеров коробочек и семян льна и условия наименьшего повреждения семян [12, 13, 14, 16].

2. Установлены зависимости, позволяющие определить геометрические параметры треугольной формы зуба бича, исходя из уплотняющей и проникающей его способности. Установлены рациональные интервалы параметров зубчатой рабочей кромки бича: угла при вершине зуба –  $5...40^\circ$ , высоты зуба –  $0,0096...0,05$  м. Получены параметрические уравнения, позволяющие связать конструктивные параметры исследуемого обмолачивающего устройства с кинематическими параметрами движения его основных звеньев. Получена зависимость для определения скорости ленты льнотресты с учетом допустимого относительного удлинения участка стеблей, расположенного в «мертвой» зоне, а также времени от момента начала воздействия бича на стебли до возможного их обрыва. Получены уравнения, позволяющие определить параметры взаимного расположения рабочих органов разработанного обмолачивающего устройства с учетом конструктивных параметров кривошипно-шатунного механизма с коромыслом [4, 10, 15, 17].

3. Установлены закономерности изменения угла отгиба стеблей льна и предельной величины смещения ленты за время с момента начала воздействия бича на стебли до возможного их обрыва в зависимости от диаметра стеблей. Установлены зависимости механического напряжения, возникающего в семенной коробочке, от степени сжатия ее. Расчетные значения модуля Юнга для семенных коробочек диаметром  $0,0056...0,0078$  м составляют  $0,28...0,55$  МПа. Установлены предельные значения поперечной деформации семенной коробочки

(0,0006...0,0022 м), определяющие момент ее разрушения [10, 14].

4. Получена математическая модель, описывающая процесс обмолота лент льнотресты очесывающе-плющильным аппаратом, которая позволяет определить значения факторов, обеспечивающих наибольшую степень обмолота ( $E_{об} = 0,995$ ): скорости подачи ленты льнотресты – 1,25 м/с; зазора между бичом и декой – 0,01 м; частоты вращения рабочего органа – 3,09 с<sup>-1</sup> [7, 8].

5. Производственными испытаниями подтверждена эффективность разработанного очесывающе-плющильного аппарата с эластичным рабочим органом в сравнении с серийным гребневым рабочим органом линии первичной переработки льна «Van Dommele». Установлено: увеличение степени обмолота лент льнотресты с 0,820 до 0,988, снижение повреждения семян с 1,5 до 1 %, повреждения стеблей, влияющего на выход длинного волокна, с 5 до 1,9 % и отхода стеблей в путанину с 8 до 2 %. Расчетный годовой экономический эффект от внедрения очесывающе-плющильного аппарата составил 64161 руб. (41,94 руб./т) [9, 18, 33].

### **Рекомендации по практическому использованию результатов**

Полученные теоретические и экспериментальные результаты могут быть использованы при разработке машин и оборудования для отделения семян от стеблей льна.

Результаты исследований по диссертационной работе рассмотрены конструкторским бюро ОАО «Калинковичский ремонтно-механический завод» и приняты к использованию при разработке новой техники, предназначенной для отделения семян от стеблей льна.

Результаты исследований по диссертационной работе рассмотрены и одобрены научно-техническим советом Центра научно-технических разработок ОАО «Управляющая компания холдинга «Бобруйскагромаш» и приняты к использованию при проектировании новых машин для уборки и первичной переработки льна.

Полученные материалы используются в учреждении образования «Белорусская государственная орденов Октябрьской Революции и Трудового Красного Знамени сельскохозяйственная академия» на кафедре сельскохозяйственных машин (акт о внедрении № 735 от 5 января 2021 г.), на кафедре технологии и организации механизированных работ в растениеводстве (акт о внедрении № 207 от 23 мая 2017 г.) при изучении современных технологий и машин для уборки и первичной переработки льна.

**СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ СОИСКАТЕЛЯ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ****Монография**

1. Основы расчета рабочих органов машин и оборудования для производства семян льна / В. А. Шаршунов, В. Е. Кругленя, А. Н. Кудрявцев, А. С. Алексеенко, М. В. Цайц, В. А. Левчук, М. П. Акулич. – Горки : БГСХА, 2016. – 156 с.

**Статьи в научных журналах, входящих в перечень ВАК**

2. Исследование обмолачивающего устройства в линии первичной переработки льна / В. А. Шаршунов, В. Е. Кругленя, А. С. Алексеенко, В. А. Левчук, М. В. Цайц // Вес. Нац. акад. навук Беларусі. Сер. аграр. навук. – 2015. – № 3. – С. 112–117.

3. Анализ механизированных технологий уборки и первичной переработки льна / В. А. Шаршунов, А. С. Алексеенко, М. В. Цайц, В. А. Левчук // Вестн. Белорус. гос. с.-х. акад. – 2017. – № 2. – С. 137–141.

4. Уравнения траектории движения рабочего органа обмолачивающего устройства колебательного типа линии первичной переработки льна «Van Dommele» / В. А. Шаршунов, А. С. Алексеенко, С. В. Курзенков, В. А. Левчук, М. В. Цайц // Вестн. Белорус. гос. с.-х. акад. – 2017. – № 4. – С. 164–168.

5. Анализ устройств для отделения семян льна от стеблей / В. А. Шаршунов, А. С. Алексеенко, М. В. Цайц, В. А. Левчук // Вестн. Белорус. гос. с.-х. акад. – 2017. – № 4. – С. 174–180.

6. Расчет экономической эффективности разработанного обмолачивающего устройства в линии первичной переработки льна «Van Dommele» / А. С. Алексеенко, Т. Л. Хроменкова, В. А. Левчук, М. В. Цайц // Вестн. Белорус. гос. с.-х. акад. – 2018. – № 2. – С. 186–191.

7. Левчук, В. А. Результаты экспериментальных исследований обмолачивающего устройства с эластичным рабочим органом в линии первичной переработки льна / В. А. Левчук, М. В. Цайц // Вестн. Белорус. гос. с.-х. акад. – 2021. – № 1. – С. 149–155.

8. Левчук, В. А. Исследования процесса обмолота лент льнотресты эластичным рабочим органом / В. А. Левчук, М. В. Цайц // Вестн. Белорус. гос. с.-х. акад. – 2021. – № 1. – С. 161–166.

9. Левчук, В. А. Результаты производственных испытаний обмолачивающего устройства с эластичным рабочим органом в линии первичной переработки льна «Van Dommele» / В. А. Левчук, М. В. Цайц // Вестн. Белорус. гос. с.-х. акад. – 2021. – № 1. – С. 172–177.

10. Курзенков, С. В. Обоснование скорости зажимного транспортера обмолачивающего устройства линии первичной переработки льна / С. В. Курзенков, В. А. Левчук, М. В. Цайц // Агропанорама. – 2022. – № 1 (149). – С. 14–19.

11. Шаршунов, В. А. Поисковые эксперименты процесса обмолота лент льно-тресты устройством с эластичным рабочим органом в линии первичной переработки / В. А. Шаршунов, В. А. Левчук, М. В. Цайц // Вестн. Белорус. гос. с.-х. акад. – 2022. – № 1. – С. 148–153.

12. Курзенков, С. В. Методика расчета параметров слоя стеблей льна в зоне обмолота / С. В. Курзенков, В. А. Левчук, М. В. Цайц // Вестн. Белорус. гос. с.-х. акад. – 2022. – № 1. – С. 154–159.

13. Курзенков, С. В. Моделирование деформации формы коробочки льна при ее сжатии между бичом и декой в процессе обмолота / С. В. Курзенков, В. А. Левчук, М. В. Цайц // Вестн. Белорус. гос. с.-х. акад. – 2022. – № 1. – С. 142–147.

14. Исследование характера деформации и разрушения семенной коробочки льна / В. А. Шаршунов, С. В. Курзенков, В. А. Левчук, М. В. Цайц // Вестн. Баранов. гос. ун-та. Сер.: Техн. науки. – 2022. – № 1 (11). – С. 96–105.

15. Обоснование параметров эластичного бича обмолачивающего устройства линии первичной переработки / В. А. Шаршунов, С. В. Курзенков, В. А. Левчук, М. В. Цайц // Вестн. Белорус. гос. с.-х. акад. – 2022. – № 2. – С. 153–159.

16. Курзенков, С. В. Теоретическое обоснование молотильного зазора обмолачивающего устройства линии первичной переработки льна / С. В. Курзенков, В. А. Левчук, М. В. Цайц // Вестн. Белорус. гос. с.-х. акад. – 2022. – № 2. – С. 160–164.

17. Обоснование параметров установки зажимного транспортера и деки обмолачивающего устройства линии первичной переработки / В. А. Шаршунов, С. В. Курзенков, В. А. Левчук, М. В. Цайц // Вестн. Белорус. гос. с.-х. акад. – 2022. – № 2. – С. 170–175.

18. Левчук, В. А. Определение технологических параметров обмолачивающего устройства и экономическая эффективность его применения в линии первичной переработки льна / В. А. Левчук // Агропанорама. – 2022. – № 2 (151). – С. 2–5.

### **Статьи в сборниках материалов конференций и журналах**

19. Левчук, В. А. Разработка комбинированного очесывающего устройства льноуборочного комбайна / В. А. Левчук, М. В. Лёвкин // Исследования и разработки в области машиностроения, энергетики и управления: материалы X Междунар. межвуз. науч.-техн. конф. студентов, магистрантов и аспирантов, Гомель, 29–30 апр. 2010 г. / М-во образования Респ. Беларусь, Гомел. гос. техн. ун-т им. П. О. Сухого. – Гомель, 2010. – С. 40–42.

20. Левчук, В. А. Обзор и анализ технологий уборки льна / В. А. Левчук //

Молодежь и инновации – 2011 : материалы Междунар. науч.-практ. конф. молодых ученых, Горки, 25–28 мая 2011 г. : в 2 ч. / Белорус. гос. с.-х. акад. ; редкол.: А. П. Курдеко [и др.]. – Горки, 2011. – Ч. 2. – С. 80–83.

21. Левчук, В. А. Обмолачивающее устройство в линии первичной переработки льна фирмы «Van Dommelle» / В. А. Левчук // Новые материалы, оборудование и технологии в промышленности : материалы междунар. науч.-техн. конф. молодых ученых, Могилев, 17–18 нояб. 2011 г. / М-во образования Респ. Беларусь, М-во образования и науки Рос. Федерации, Белорус.-Рос. ун-т ; редкол.: И. С. Сазонов [и др.]. – Могилев : Белорус.-Рос. ун-т, 2011. – С. 220.

22. Левчук, В. А. Совершенствование процесса обмолота головок льна в линии первичной переработки фирмы «Van Dommelle» / В. А. Левчук, В. Е. Кругленя // Знания молодых: наука, практика и инновации : сб. науч. тр. Междунар. науч.-практ. конф. молодых ученых, аспирантов и соискателей, Киров, 5 апр. 2013 г. : в 2 ч. – Киров : Вятская ГСХА, 2013. – Ч. 2: Технические и экономические науки. – С. 31–33.

23. Кругленя, В. Е. Определение энергии удара обмолачивающего устройства бильного типа в линии переработки льна / В. Е. Кругленя, В. А. Левчук // Конструирование, использование и надежность машин с.-х. назначения. – 2013. – № 1 (12). – С. 84–88.

24. Левчук, В. А. Народнохозяйственное значение производства семян льна в Республике Беларусь / В. А. Левчук // Молодежь и инновации – 2013 : материалы Междунар. науч.-практ. конф. молодых ученых, Горки, 29–31 мая 2013 г. : в 4 ч. / Белорус. гос. с.-х. акад. ; редкол.: А. П. Курдеко [и др.]. – Горки, 2013. – Ч. 2. – С. 253–256.

25. Левчук, В. А. Повышение эффективности обмолота головок льна в линии переработки фирмы «Van Dommelle» / В. А. Левчук // Научно-практические аспекты технологий возделывания и переработки масличных культур : материалы Междунар. науч.-практ. конф., Рязань, 15–16 февр. 2013 г. : в 12 т. / под ред. Д. В. Виноградова. – Рязань : РГАТУ, 2013. – Т. 9. – С. 198–201.

26. Левчук, В. А. Определение зоны обмолота аппарата бильного типа в линии первичной переработки льна / В. А. Левчук // Наука и молодежь: новые идеи и решения : материалы Междунар. науч.-практ. конф. молодых исследователей, посвящ. 70-летию Победы в Сталинградской битве, Волгоград, май 2013 г. – Волгоград : Волгогр. ГАУ, ИПК «Нива», 2013. – Ч. I. – С. 135–139.

27. Исследование качества обмолота льнотресты в линии первичной переработки льна / В. Е. Кругленя, В. А. Левчук, М. В. Цайц, М. М. Мазаловский // Вестн. Брянской гос. с.-х. акад. – 2014. – № 3. – С. 69–72.

28. Кругленя, В. Е. Применение эластичного рабочего органа для отделения коробочек льна / В. Е. Кругленя, М. В. Левкин, В. А. Левчук // Современные проблемы освоения новой техники, технологий, организации технического сервиса в

АПК : материалы Междунар. науч.-практ. конф., посвящ. 60-летию Белорус. гос. аграр. техн. ун-та и памяти первого ректора БИМСХ (БГАТУ), д-ра техн. наук, проф. В. П. Сулова, Минск, 4–6 июня 2014 г. : в 2 ч. / под общ. ред. И. Н. Шило, Н. А. Лабушева. – Минск : БГАТУ, 2014. – Ч. 2. – С. 56–61.

29. Кругленя, В. Е. Устройства для отделения семенных коробочек от стеблей – очесывающие аппараты / В. Е. Кругленя, В. А. Левчук, М. В. Цайц // Конструирование, использование и надежность машин с.-х. назначения. – 2015. – № 1 (14). – С. 168–178.

30. Левчук, В. А. Обмолот семенных коробочек льна в линии первичной переработки / В. А. Левчук, М. В. Цайц // Научно-практические аспекты технологий возделывания и переработки масличных и эфиромасличных культур : материалы Междунар. науч.-практ. конф., Рязань, 3–4 марта 2016 г. – Рязань : РГАТУ, 2016. – С. 130–137.

31. Левчук, В. А. Выбор и обоснование основных технологических параметров обмолачивающего устройства в линии первичной переработки льна / В. А. Левчук, М. В. Цайц // Наука и молодёжь: новые идеи и решения : материалы X междунар. науч.-практ. конф. молодых исследователей, Волгоград, 15–17 марта 2016 г. – Волгоград : Волгогр. ГАУ, 2016. – С. 289–292.

32. Цайц, М. В. Анализ состояния производства льна-долгунца в Республике Беларусь / М. В. Цайц, В. А. Левчук // Наука и молодёжь: новые идеи и решения : материалы X междунар. науч.-практ. конф. молодых исследователей, Волгоград, 15–17 марта 2016 г. – Волгоград : Волгогр. ГАУ, 2016. – С. 329–333.

33. Левчук, В. А. Результаты исследования обмолачивающего устройства в линии первичной переработки льна / В. А. Левчук, М. В. Цайц // Новые материалы, оборудование и технологии в промышленности : материалы междунар. науч.-техн. конф. молодых ученых / М-во образования Респ. Беларусь, М-во образования и науки Рос. Федерации, Белорус.-Рос. ун-т; редкол.: И. С. Сазонов (гл. ред.) [и др.]. – Могилев : Белорус.-Рос. ун-т, 2016. – С. 23.

### Патенты

34. Устройство для отделения семенных коробочек от стеблей льна : пат. 7224 Респ. Беларусь : МПК А01F11/00 / В. Е. Кругленя, М. В. Лёвкин, В. И. Коцуба, С. Н. Крепочин, В. А. Левчук ; дата публ.: 02.02.2011.

35. Устройство для выделения семян из ленты льнотресты : пат. 8183 Респ. Беларусь : МПК А01D45/06 / В. Е. Кругленя, М. В. Лёвкин, В. А. Левчук ; дата публ.: 30.04.2012.

36. Обмолачивающее устройство ленты льнотресты : пат. 8332 Респ. Беларусь : МПК А01F11/02 / В. Е. Кругленя, М. В. Лёвкин, В. А. Левчук ; дата публ.: 30.06.2012.

37. Очесывающий аппарат льноуборочного комбайна : пат. 8493 Респ. Беларусь : МПК А01F11/02 / В. Е. Кругленя, М. В. Лёвкин, В. А. Левчук ; дата публ.: 04.08.2012.

38. Устройство для обмолота коробочек льна : пат. 8494 Респ. Беларусь : МПК А01F11/02 / В. Е. Кругленя, М. В. Лёвкин, В. А. Левчук ; дата публ.: 04.08.2012.

39. Импульсное очесывающее устройство : пат. 10253 Респ. Беларусь : МПК В07В1/36 / В. Е. Кругленя, В. И. Коцуба, М. В. Цайц, Е. И. Кармишин, М. М. Мазаловский, В. А. Левчук, И. Л. Подшиваленко, А. Н. Кудрявцев ; дата публ.: 02.06.2014.

**РЭЗІЮМЭ**

Ляўчук Віталь Анатольевіч

**Абмалот стужак ільнотрасты ў лініі першаснай перапрацоўкі ачэсліва-плюшчыльным апаратам**

**Ключавыя словы:** абмалочваючая прылада, эластычны працоўны орган, абмалот, ачос, лінія першаснай перапрацоўкі, лён-даўгунец, ільнотраста.

**Мэта даследаванняў:** павышэнне ступені абмалоту стужак ільнотрасты, зніжэнне пашкоджання насення і сцеблаў за кошт прымянення ачысліва-плюшчыльнага апарата ў лініі першаснай перапрацоўкі лёну, тэарэтычнае і эксперыментальнае абгрунтаванне яго асноўных параметраў і рэжымаў працы.

**Метады даследавання і апаратура.** Тэарэтычныя даследаванні праводзіліся на аснове законаў механікі, эксперыментальныя – па метадыках, распрацаваных на аснове агульнапрынятых метадык. Эксперыментальныя даследаванні праводзіліся на спецыяльна вырабленых эксперыментальных устаноўках.

**Атрыманыя вынікі і іх навізна.** Выкананыя даследаванні дазволілі:

– абгрунтаваць канструктыўна-тэхналагічную схему ачысліва-плюшчыльнага апарата;

– тэарэтычна даследаваць працэс абмалоту стужак ільнотрасты ў лініі першаснай перапрацоўкі прыладай, якая распрацоўваецца, правёўшы аналіз яе асноўных параметраў і рэжымаў працы;

– эксперыментальна ўдакладніць і пацвердзіць дакладнасць вынікаў тэарэтычных даследаванняў працоўнага працэсу абмалоту стужак ільнотрасты і параметраў абмалочваючай прылады;

– вызначыць параметр аптымізацыі, выявіць дзеючыя фактары і па выніках даследаў атрымаць матэматычную мадэль, якая адэкватна апісвае працэс абмалоту стужак ільнотрасты;

– правесці вытворчыя выпрабаванні ачысліва-плюшчыльнага апарата і вызначыць эканамічную эфектыўнасць яго выкарыстання.

Навізна тэхнічных рашэнняў пацверджана патэнтамі Рэспублікі Беларусь на карысныя мадэлі № 7224, № 8183, № 8332, № 8493, № 8494.

**Рэкамендацыі па выкарыстанні.** Вынікі даследаванняў разгледжаны і адобраны канструктарскім бюро ААТ «Калінкавіцкі рамонтна-механічны завод», а таксама Цэнтрам навукова-тэхнічных распрацовак ААТ «Кіруючая кампанія холдынгу «Бабруйскаграмаш» і прыняты да выкарыстання пры распрацоўцы новай тэхнікі, прызначанай для аддзялення насення ад сцеблаў лёну.

**Вобласць прымянення.** Прадпрыемствы сельскагаспадарчага машынабудавання і Мінсельгасхарча.

## РЕЗЮМЕ

Левчук Виталий Анатольевич

### **Обмолот лент льнотресты в линии первичной переработки очесывающе-плющильным аппаратом**

**Ключевые слова:** обмолачивающее устройство, эластичный рабочий орган, обмолот, очес, линия первичной переработки, лен-долгунец, льнотреста.

**Цель исследований:** повышение степени обмолота лент льнотресты, снижение повреждения семян и стеблей за счет применения очесывающе-плющильного аппарата в линии первичной переработки льна, теоретическое и экспериментальное обоснование его основных параметров и режимов работы.

**Методы исследования и аппаратура.** Теоретические исследования проводились на основе законов механики, экспериментальные – по методикам, разработанным на основе общепринятых методик. Экспериментальные исследования проводились на специально изготовленных экспериментальных установках.

**Полученные результаты и их новизна.** Выполненные исследования позволили:

- обосновать конструктивно-технологическую схему очесывающе-плющильного аппарата;
- теоретически исследовать процесс обмолота лент льнотресты в линии первичной переработки разрабатываемым устройством, проведя анализ его основных параметров и режимов работы;
- экспериментально уточнить и подтвердить достоверность результатов теоретических исследований рабочего процесса обмолота лент льнотресты и параметров обмолачивающего устройства;
- определить параметр оптимизации, выявить действующие факторы и по результатам опытов получить математическую модель, адекватно описывающую процесс обмолота лент льнотресты;
- провести производственные испытания очесывающе-плющильного аппарата и определить экономическую эффективность его использования.

Новизна технических решений подтверждена патентами Республики Беларусь на полезные модели № 7224, № 8183, № 8332, № 8493, № 8494.

**Рекомендации по использованию.** Результаты исследований рассмотрены и одобрены конструкторским бюро ОАО «Калинковичский ремонтно-механический завод», а также Центром научно-технических разработок ОАО «Управляющая компания холдинга «Бобруйскагромаш» и приняты к использованию при разработке новой техники, предназначенной для отделения семян от стеблей льна.

**Область применения.** Предприятия сельскохозяйственного машиностроения и Минсельхозпрода.

## SUMMARY

Levchuk Vitaly Anatolyevich

### **Threshing flax strips in the primary processing line stripping and flattening apparatus**

**Key words:** threshing device, elastic working body, threshing, tow, primary processing line, fiber flax, flax straw.

**Aim of research:** increasing the degree of threshing of flax straws, reducing damage to seeds and stems due to the use of a combing and flattening apparatus in the line of primary processing of flax, theoretical and experimental substantiation of its main parameters and operating modes.

**Methods of research and equipment.** Theoretical studies were carried out on the basis of the laws of mechanics, experimental studies – according to methods developed on the basis of generally accepted methods. Experimental studies were carried out on specially made experimental setups.

**Results and their novelty.** The performed studies allowed:

– to substantiate the structural and technological scheme of the combing and flattening apparatus;

– to theoretically study the process of threshing flax strips in the line of primary processing by the developed device, having analyzed its main parameters and operating modes;

– experimentally clarify and confirm the reliability of the results of theoretical studies of the working process of threshing flax strips and the parameters of the threshing device;

– to determine the optimization parameter, to identify the acting factors and, based on the results of the experiments, to obtain a mathematical model that adequately describes the process of threshing flax strips;

– to conduct production tests of the stripping and flattening apparatus and determine the economic efficiency of its use.

The novelty of technical solutions is confirmed by patents of the Republic of Belarus for utility models № 7224, № 8183, № 8332, № 8493, № 8494.

**Recommendations for usage.** The results of the research were reviewed and approved by the design bureau of JSC «Kalinkovichi Repair and Mechanical Plant», as well as the Center for Scientific and Technical Development of JSC «Managing Company of the Holding «Bobruiskagromash» and accepted for use in the development of new equipment designed to separate seeds from flax stalks.

**The area of usage.** Enterprises of agricultural engineering and the Ministry of Agriculture and Food.



Научное издание

**Левчук Виталий Анатольевич**

**ОБМОЛОТ ЛЕНТ ЛЬНОТРЕСТЫ В ЛИНИИ ПЕРВИЧНОЙ  
ПЕРЕРАБОТКИ ОЧЕСЫВАЮЩЕ-ПЛЮЩИЛЬНЫМ АППАРАТОМ**

Автореферат диссертации  
на соискание ученой степени кандидата технических наук  
по специальности 05.20.01 – технологии и средства механизации  
сельского хозяйства (технические науки)

Подписано в печать 17.01.2023.  
Формат 60×84<sup>1</sup>/<sub>16</sub>. Бумага для множительных аппаратов.  
Печать ризографическая. Гарнитура «Таймс».  
Усл. печ. л. 1,3. Тираж 60 экз.  
Заказ №

---

Отпечатано в отделении ризографии и художественно-оформительской  
деятельности УО БГСХА  
213407, г. Горки Могилевской обл., ул. Мичурина, 5