

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

Объект авторского права  
УДК 631.53.01:631.53.027.2

**ЦАЙЦ  
Максим Валерьевич**

**ОТДЕЛЕНИЕ СЕМЕННОЙ ЧАСТИ ОТ СТЕБЛЕЙ ЛЬНА  
РОТОРНО-БИЛЬНЫМ АППАРАТОМ ПРИ КОМБАЙНОВОЙ УБОРКЕ**

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

**Горки, 2024**

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» мая 2024 г. в 11<sup>00</sup> 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) 7-96-68.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке УО БГСХА.

Автореферат разослан «25» марта 2024 г.

Ученый секретарь совета  
по защите диссертаций  
кандидат технических наук, доцент



П. Ю. Крупенин

## ВВЕДЕНИЕ

Важную роль в решении проблемы развития агропромышленного комплекса, преодолении негативных тенденций и обеспечении устойчивого эффективного развития АПК, переоснащении его материально-технической базы призвана сыграть льноводческая отрасль [1; 5].

Урожайность льнопродукции напрямую зависит от качества семенного материала. К основным проблемам семеноводства льна в Республике Беларусь относятся: сокращение числа льносемстанций, недостаток семян высоких посевных кондиций [1; 2; 5]. Нередко сеют семенами массовых репродукций, что недопустимо, так как использование семян низкой репродукции приводит к снижению урожайности и качества льнопродукции.

В условиях Республики Беларусь получение семенного материала осуществляется по комбайновой и раздельной технологиям при отделении семян в поле [3]. Несмотря на внедрение раздельной технологии уборки, основной для получения семян льна, используемых в дальнейшем для посева, является комбайновая [2; 3; 14; 21].

От уровня совершенства технологического процесса отделения семенной части урожая льна-долгунца от стеблей зависит величина урожая, качество льнопродукции, величина потерь, трудоемкость и энергоемкость послеуборочной доработки вороха льна [4; 25; 27].

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Связь работы с научными программами (проектами), 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), а также Государственной программой научных исследований на 2016–2020 годы (раздел 9. Качество и эффективность агропромышленного производства). Исследования по диссертационной работе проводились в рамках хоздоговорной темы № 315 «Исследование процесса взаимодействия различных типов рабочих органов с льнотрестой и льноволокном», № госрегистрации 20143309, в 2014–2015 годах.

**Цель, задачи, объект и предмет исследования.** Целью исследований является повышение качества отделения семенной части от стеблей льна за счет применения роторно-бильного аппарата в льноуборочном комбайне, теоретическое и экспериментальное обоснование его основных параметров и режимов работы.

Для достижения поставленной цели необходимо:

– обосновать конструкционно-технологическую схему роторно-бильного аппарата, обеспечивающего повышение качества процесса обмолота лент льна при комбайновой технологии уборки;

– на основании анализа основных параметров и режимов работы разрабатываемого аппарата теоретически исследовать процесс отделения семенной части от стеблей льна с учетом свойств объекта обработки;

– экспериментально уточнить и подтвердить достоверность результатов теоретических исследований процесса отделения семенной части от стеблей льна и параметров роторно-бильного аппарата;

– определить параметры оптимизации, выявить действующие факторы и по результатам опытов получить математические модели, адекватно описывающие процесс отделения семенной части от стеблей льна роторно-бильным аппаратом;

– провести производственные испытания льноуборочного комбайна с роторно-бильным аппаратом и определить экономическую эффективность его использования.

*Объект исследования:* растения льна, лента льна, экспериментальные и макетный образцы роторно-бильного аппарата.

*Предмет исследования:* обоснование параметров и режимов работы роторно-бильного аппарата для отделения семенной части от стеблей льна.

**Научная новизна.** Получены аналитические зависимости для определения радиусов ротора и защитного кольца с учетом коэффициента пропорциональности роторно-бильного аппарата, технологического зазора между ротором и плоскостью зажимного транспортера, предельного угла изгиба стеблей и коэффициента удлинения стеблей в ленте льна. Получены аналитические зависимости для определения геометрических параметров бичей ротора в зависимости от их количества и радиусов ротора и защитного кольца. Получена аналитическая зависимость, устанавливающая связь между кратностью воздействий бичами на фрагмент ленты льна и конструкционными и кинематическими параметрами роторно-бильного аппарата. Установлена эмпирическая зависимость удлинения стеблей в ленте льна под действием рабочих органов обмолачивающего аппарата от длины участка льна, находящегося в зоне обмолота. Получены математические модели чистоты обмолота и степени повреждения стеблей льна, адекватно описывающие процесс обмолота лент льна в зависимости от кратности воздействий бичами на фрагмент ленты льна, толщины слоя обрабатываемой ленты льна и радиального зазора. Разработана номограмма для определения технологических параметров и режимов работы льноуборочного комбайна с роторно-бильным аппаратом. Новизна технических решений подтверждена патентами на изобретение Республики Беларусь (№ 21293) и Российской Федерации (№ 2788696).

**Положения, выносимые на защиту:**

– аналитические зависимости для определения радиусов ротора и защитного кольца; выражения для определения геометрических параметров бичей ротора; уравнение, связывающее конструкционные параметры роторно-бильного аппарата с его кинематическими параметрами, позволяющие определить значения и грани-

цы варьирования основных, влияющих на процесс обмолота факторов;

- зависимости изменения относительного удлинения стеблей льна под действием рабочих органов обмолачивающего устройства в зависимости от длины участка льна, находящегося в зоне обмолота, позволяющие уточнить минимальное значение радиусов ротора и защитного кольца;

- уравнения регрессии, устанавливающие зависимости чистоты обмолота и степени повреждения стеблей льна от кратности воздействий бичом на фрагмент ленты льна, толщины слоя стеблей льна и радиального зазора;

- результаты производственных испытаний и расчета экономической эффективности применения роторно-бильного аппарата на льноуборочном комбайне.

**Личный вклад соискателя.** Обоснованы конструкционные и технологические параметры роторно-бильного аппарата; получены зависимости изменения относительного удлинения стеблей льна под действием рабочих органов обмолачивающего устройства в зависимости от длины участка льна, находящегося в зоне обмолота; разработана и изготовлена установка для проведения экспериментальных исследований; проведены экспериментальные исследования и получены уравнения регрессии, описывающие процесс отделения семенной части от стеблей льна разработанным обмолачивающим устройством; обработаны и проанализированы полученные результаты; сделаны доклады на научных конференциях; изданы монография и статьи; получены патенты Республики Беларусь и Российской Федерации на изобретения и полезные модели.

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

Основные результаты исследований по теме диссертации доложены и одобрены на Международной научно-практической конференции молодых ученых «Молодежь и инновации» (г. Горки, 2013 г.); XVI Международной научной конференции студентов и магистрантов «Научный поиск молодежи XXI века» (г. Брянск, 2014 г.); XXVII Международной научно-технической конференции «Конструирование, использование и надежность машин сельскохозяйственного назначения» (г. Брянск, 2015 г.); X Международной научно-практической конференции молодых исследователей «Наука и молодежь: новые идеи и решения» (г. Волгоград, 2016 г.); Международной научно-технической конференции молодых ученых «Новые материалы, оборудование и технологии в промышленности» (г. Могилев, 2016 г.); Международной научно-практической конференции, посвященной 50-летию кафедры мелиоративных и строительных машин УО БГСХА (г. Горки, 2018 г.); Международной научно-практической конференции «Инновационные решения в технологиях и механизации сельскохозяйственного производства» (г. Горки, 2020 г.); 6-й Международной научно-практической конференции «Инновационные технологии в агропромышленном комплексе – сегодня и завтра» (г. Гомель, 2022 г.); IV Международной научно-практической конференции «Наука – практике» (г. Барановичи, 2023 г.); Международной научно-

практической конференции «Инновационные решения в технологиях и механизации сельскохозяйственного производства» (г. Горки, 2023 г.).

**Опубликованность результатов диссертации.** По теме диссертационной работы опубликовано 52 печатные работы объемом 24,98 авторского листа, в том числе: монография объемом 9,07 авторского листа; 19 печатных работ объемом 9,7 авторского листа опубликовано в научных журналах и сборниках, входящих в перечень ВАК Республики Беларусь; 27 печатных работ объемом 5,53 авторского листа – в журналах, сборниках материалов и тезисов научных конференций; 6 патентов Республики Беларусь и Российской Федерации на изобретения и полезные модели объемом 0,68 авторского листа; 9 печатных работ объемом 3,0 авторского листа опубликовано без соавторов.

**Структура и объем диссертации.** Диссертационная работа состоит из введения, общей характеристики работы, основной части из пяти глав, заключения, списка использованных источников и приложений, включающих результаты экспериментальных исследований, копии документов об апробации и внедрении полученных результатов. Полный объем диссертации составляет 239 страницы и включает в себя 75 рисунка, 16 таблиц, библиографический список из 139 источников, перечень 52 публикаций автора, а также приложения на 66 страницах.

## ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

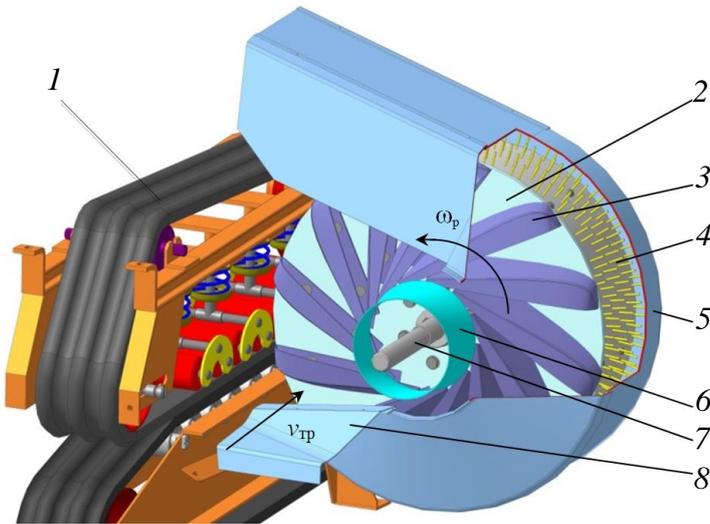
**Во введении** охарактеризована проблема уборки семеноводческих посевов льна-долгунца, обоснована актуальность исследований машин и оборудования для отделения семенной части от стеблей в льноуборочном комбайне.

**В первой главе** «Состояние вопроса, цель и задачи исследований» в результате анализа технологий уборки льна установлена специфика уборки льна-долгунца по комбайновой технологии, которая предусматривает отделение семенной части урожая от стеблей льна непосредственно при терблении в фазах желтой и бурой спелости. Уборка льна в эти фазы спелости осуществляется по комбайновой технологии, позволяет получить семенной материал высоких посевных кондиций и в меньшей степени зависит от погодных условий [3; 5; 14; 29; 31].

В льноуборочных комбайнах используются очесывающие аппараты гребневого типа, работа которых сопровождается: повреждением стеблей (до 6 %), отходом стеблей в путанину (до 8 %), высокой повреждаемостью семян (до 3 %), намоткой стеблей на рабочий орган [4; 13; 16]. Это вызвано неприспособленностью используемых аппаратов к дефектам ленты льна (относительный перекося стеблей в ленте и растянутость), поступающей на очес.

На основании проведенного анализа известных конструкций устройств для отделения семенной части от стеблей льна [4; 25; 25; 27; 45; 47; 49; 50] с учетом обеспеченности льносеющих хозяйств льноуборочной техникой [14], агробиологических

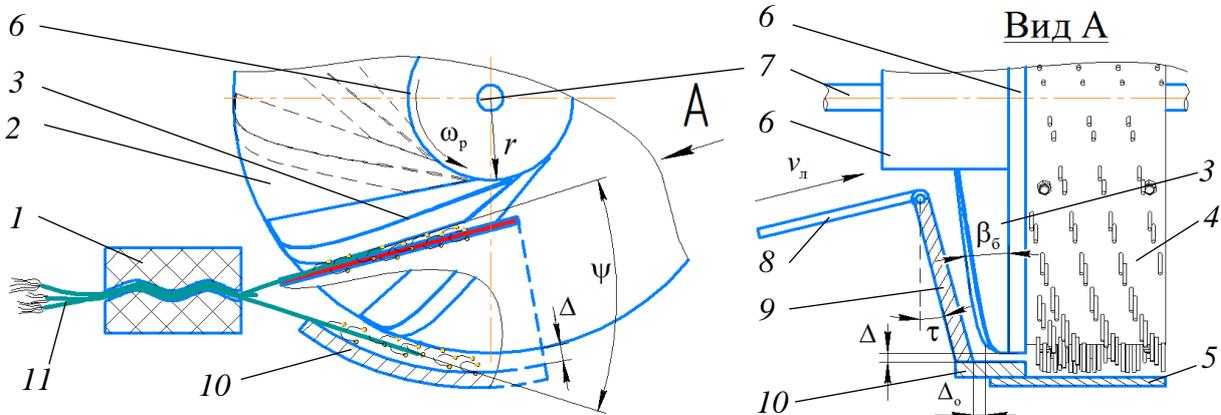
[35] и физико-механических [6; 7; 8] свойств льна предложена схема обмолачивающего устройства (рисунок 1), сочетающего комбинированное (разрушающее и вычесывающее без грубого прочеса) воздействие рабочего органа на обрабатываемый материал [22; 23; 24; 26; 28; 30; 38; 47; 51; 52].



**1 – зажимной транспортер; 2 – ротор; 3 – бичи;**  
**4 – вычесывающе-транспортирующая щетка;**  
**5 – кожух; 6 – кольцо; 7 – вал ротора; 8 – стол.**

**Рисунок 1 – Конструкция роторно-бильного аппарата**

Предлагаемое устройство состоит из зажимного транспортера 1 и роторно-бильного аппарата, имеющего улиткообразный кожух 5. Внутри кожуха на валу 7, параллельном транспортеру, установлен ротор 2, на боковой стороне которого жестко закреплены бичи 3, расположенные осями на расстоянии  $r$  от центра вращения ротора (рисунок 2). За ротором по ходу движения ленты льна установлена вычесывающе-транспортирующая щетка 4.



**1 – зажимной транспортер; 2 – ротор; 3 – бич; 4 – вычесывающе-транспортирующая щетка; 5 – кожух; 6 – защитное кольцо; 7 – вал ротора; 8 – стол; 9 – боковая дека; 10 – нижняя дека; 11 – стебли льна.**

**Рисунок 2 – Схема работы роторно-бильного аппарата**

Кожух на входе и выходе ленты имеет технологические щели для прохождения ленты стеблей. Боковая часть кожуха (рисунок 2), установленная под углом  $\tau$  выполняет роль боковой деки 9, а цилиндрическая – нижней 10. Пространство между деками и ротором представляет собой зону отделения семенной части от стеблей, на входе в которую соосно ротору установлено

защитное кольцо 6, выходящее по ширине за пределы кожуха для исключения намотки стеблей льна на вал ротора и внутренние торцы бичей. Для поддержания стеблей льна при подводе к ротору установлен стол 8.

Устройство работает следующим образом. Стебли льна 11 по поверхности стола, обеспечивающего подъем верхушечной части, подводятся зажимным транспортером к ротору в направлении  $v_{л}$  (рисунок 2). При вращении в направлении  $\omega_r$  ротор 2, установленный плоскостью вращения перпендикулярно движению ленты, увлекает бичом 3 порцию стеблей вниз в пространство между ротором 2 и декой 10, где происходит отделение семенной части от стеблей и частичное разрушение коробочек. Вертикальное смещение порции стеблей, горизонтально ориентированной поверхностью стола, приводит к нарушению связей между захваченной бичом порцией стеблей и соседними стеблями в ленте. Такое непрерывно повторяющееся действие в установившемся режиме работы обмолачивающего устройства обеспечивает веерное распределение стеблей льна в зоне отделения и способствует утонению ленты. Вытирание семенных коробочек в осевом зазоре  $\Delta_0$  между поверхностью боковой деки и боковой поверхностью бича приводит к выделению семян льна из семенных коробочек. Затем стебли, зажатые транспортером, протаскиваются через радиальный зазор  $\Delta$  между нижней декой 10 и торцевыми поверхностями бичей и ротора. В образованном пространстве стебли подвергаются периодическому воздействию бичей, что способствует отделению семенной части. После зоны отделения коробочек стебли попадают под воздействие щетки 4, которая вычесывает оставшиеся в ленте семена и направляет их на выгрузной транспортер.

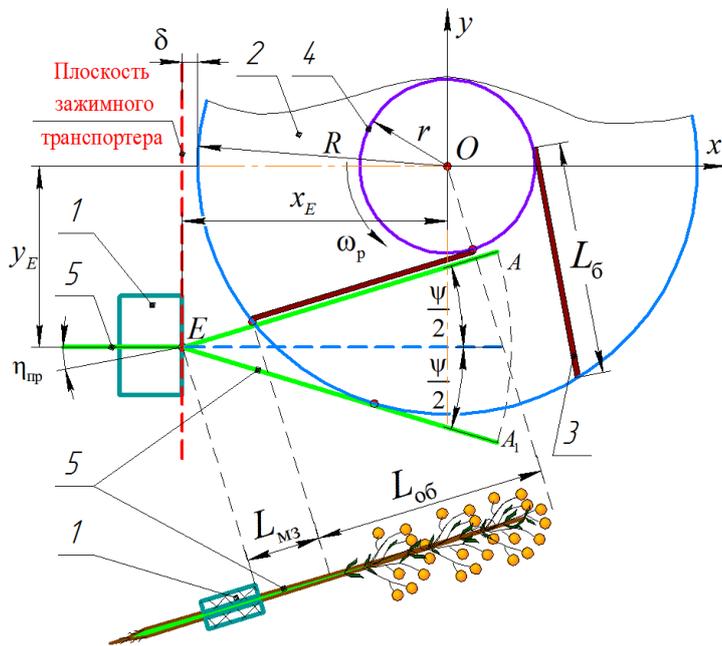
Таким образом, использование ударно-вытирающего воздействия бичей ротора на обрабатываемую ленту льна при отсутствии грубого прочеса в сочетании с веерообразным распределением стеблей обеспечит качественное отделение семенных коробочек и семян от стеблей при минимальном их повреждении и, соответственно, позволит получить семенной ворох с низким содержанием путанины.

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 роторно-бильного аппарата» проведен теоретический анализ процесса отделения семенной части от стеблей льна и обоснованы параметры роторно-бильного аппарата.

На основании анализа схем расположения элементов роторно-бильного аппарата для отделения семенной части от стеблей льна и конструктивных его параметров установлено, что наиболее рациональной схемой расположения элементов роторно-бильного аппарата, обеспечивающей эффективное воздействие их на

обмолачиваемый материал с минимальным повреждением стеблей, является вариант со смещением бича вниз на величину  $r$  относительно оси ротора параллельным переносом, при котором бич касается ленты льна в начале взаимодействия всей передней поверхностью, не допуская обрыва стеблей (рисунок 3) [12].



1 – зажимной транспортер; 2 – диск ротора;

3 – бич; 4 – защитное кольцо; 5 – стебли льна;

$L_{мз}$  – участок ленты льна, не подверженный воздействию рабочего органа (мертвая зона), м;

$L_{об}$  – длина обрабатываемого участка стебля льна, м;

$L_b$  – длина образующей бича, м;  $R$  – радиус ротора, м;

$r$  – радиус защитного кольца, м;  $\omega_p$  – угловая

скорость вращения ротора, об/с;  $\eta_{пр}$  – предельный

угол изгиба стеблей льна, рад;  $\psi$  – угол изгиба

стеблей льна рабочими органами обмолачивающего

аппаратом, рад;  $\delta$  – технологический зазор между

ротором и передней плоскостью зажимного

транспортера, м.

Рисунок 3 – Схема к определению параметров

роторно-бильного аппарата

Для обеспечения условий минимальных размеров ротора и допустимого значения угла изгиба стебля льна [33] целесообразно обеспечить предварительный подъем стеблей на угол  $\eta_{пр} = \psi/2$  с последующим отгибанием их вниз на такой же угол при затягивании бичами в молотильное пространство. В этом случае отношение радиуса ротора к радиусу защитного кольца

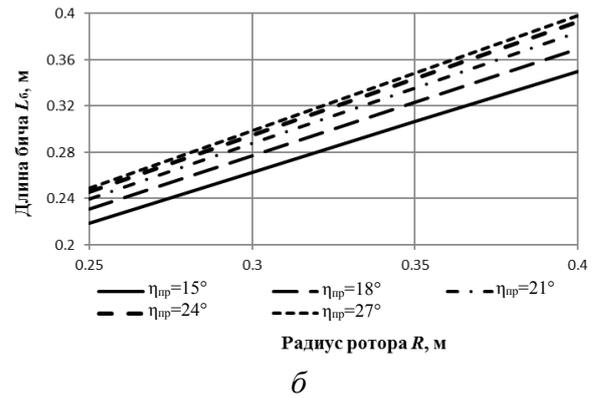
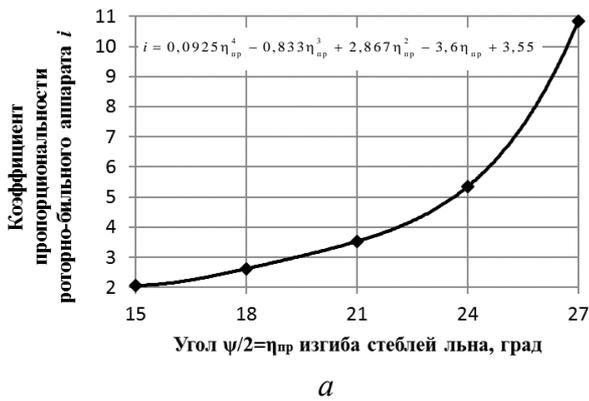
$$\frac{R}{r} = \frac{|x_E \operatorname{tg} \eta_{пр} + y_E|}{|x_E \operatorname{tg} \eta_{пр} - y_E|}, \quad (1)$$

где  $x_E, y_E$  – координаты точки  $E$ , м.

Из зависимости (1) видно, что отношение радиуса ротора к радиусу защитного кольца зависит от расположения точки  $E$  зажимного транспортера и выбранного угла изгиба стеблей, при условии, что этот угол делится пополам, т. е. характеризуется подъемом стеблей вверх на угол  $\psi/2 = \eta_{пр}$ , а затем изгибом их вниз на такой же угол. Обозначим отношение радиуса ротора к радиусу защитного кольца как  $R/r = i$ , где  $i$  – коэффициент пропорциональности роторно-бильного аппарата.

Анализ зависимости параметра  $i$  для углов изгиба стеблей льна  $15^\circ, 18^\circ, 21^\circ, 24^\circ$  и  $27^\circ$  приведен в виде графической интерпретации на рисунке 4, а.

Анализ графической зависимости (рисунок 4, а) показывает, что зависимость параметра  $i$  от угла изгиба в диапазоне  $15 \dots 24^\circ$  близка к линейной, а при увеличении угла  $\eta_{пр}$  более  $24^\circ$  резко возрастает [12]. Для предельного угла  $\eta_{пр} = 17^\circ$  соответствующего свежесобранному стеблям льна, коэффициент пропорциональности роторно-бильного аппарата  $i = 2,71$ .



**Рисунок 4 –** Графики зависимости параметра  $R/r$  от угла  $\psi$  изгиба стеблей (*a*) и длины бича  $L_б$  от радиуса ротора  $R$  при различных углах  $\psi$  изгиба стеблей (*б*)

Анализ полученных графических зависимостей (рисунок 4, *б*) с учетом условий  $R \rightarrow \min$  и  $y(x) = (x - x_E) \cdot \operatorname{tg} \eta_{\text{пр}} + y_E$  показал, что в диапазоне  $L_б = 0,3 \dots 0,35$  м при угле изгиба  $\eta_{\text{пр}} = 15^\circ$  радиус ротора  $R = 0,34 \dots 0,4$  м, а при угле изгиба  $\eta_{\text{пр}} = 27^\circ$   $R = 0,3 \dots 0,35$  м.

Поскольку ротор 2 с бичами 3 (рисунок 3) в процессе работы осуществляет вращательное движение вокруг оси  $O$ , то при большом значении величины  $EA$ , соответствующей длине стебля льна от места зажима до вершины  $L_{об}$ , стебель может наматываться на защитное кольцо 4 [19]. Условие ненаматывания можно записать как

$$\frac{(\delta + R + r \sin \eta_{\text{пр}})}{\cos \eta_{\text{пр}}} + 2 \cdot \pi \cdot r \geq L_{об} \cdot k, \quad (2)$$

где  $k$  – коэффициент удлинения стеблей в ленте льна, обусловленного выравниванием стеблей при прочесе ленты и растяжением под воздействием бича [19; 34].

Технологический зазор  $\delta$  между ротором и передней плоскостью зажимного транспортера может быть определен по формуле [19]

$$\delta = -(x_E + R) = - \left( \frac{(r - R) \cos \eta_{\text{пр}} + (R + r) \sin \eta_{\text{пр}} \operatorname{tg} \eta_{\text{пр}}}{2 \cdot \operatorname{tg} \eta_{\text{пр}}} + R \right). \quad (3)$$

Радиус ротора можно определить по зависимости [19]

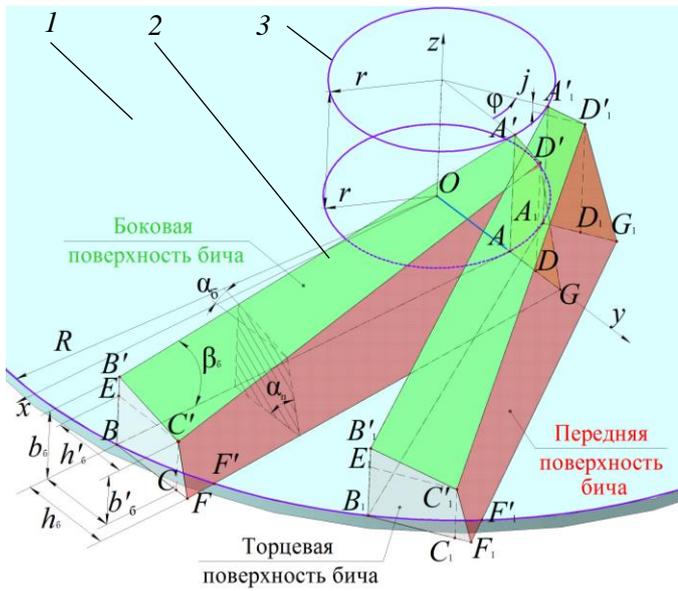
$$R = - \frac{2\delta \operatorname{tg} \eta_{\text{пр}} + r \cos \eta_{\text{пр}} + r \sin \eta_{\text{пр}} \operatorname{tg} \eta_{\text{пр}}}{2 \cdot \operatorname{tg} \eta_{\text{пр}}} - \frac{ir \cos \eta_{\text{пр}} - ir \sin \eta_{\text{пр}} \operatorname{tg} \eta_{\text{пр}}}{2 \operatorname{tg} \eta_{\text{пр}}}. \quad (4)$$

Для некоторого граничного значения длины стебля льна от места зажима (точка  $E$ ) до вершины  $L_{об}$  неравенство (2) с учетом формул (3) и (4) решим относительно радиуса защитного кольца [19]:

$$r = \frac{2L_{об} \kappa \cos \eta_{пр} \operatorname{tg} \eta_{пр}}{\sin \eta_{пр} \operatorname{tg} \eta_{пр} - \cos \eta_{пр} + i \cos \eta_{пр} + i \sin \eta_{пр} \operatorname{tg} \eta_{пр} + 4\pi \cos \eta_{пр} \operatorname{tg} \eta_{пр}}. \quad (5)$$

Анализ зависимостей (4) и (5) с учетом неравенства  $\psi/2 < \eta_{пр}$  и условия  $R \rightarrow \min$  после определения эмпирического коэффициента  $\kappa$  при фиксированных параметрах  $\delta = 0,04$  м (обусловлено конструктивными особенностями роторнобильного аппарата),  $\eta_{пр} = 17^\circ$ ,  $L_{об} = 1,09$  м позволил установить наиболее рациональные значения радиуса ротора ( $R = 0,345$  м) и радиуса защитного кольца ( $r = 0,120$  м).

Бич ротора имеет сложную форму и несколько рабочих поверхностей, выполняющих разные функции (рисунок 5). Он представляет собой объемную многогранную фигуру. Выделим основные (рабочие) поверхности (грани) бича. К ним следует отнести переднюю, боковую и торцевую поверхности [18].



1 – ротор; 2 – бич; 3 – защитное кольцо.

Рисунок 5 – Схема к определению параметров бича

Ширину бича  $b'_б$ , определяемую его передней поверхностью, вычислим по зависимости

$$b'_б = - \frac{b_б \operatorname{tg} \alpha_п - h_б \operatorname{tg} \alpha_б \operatorname{tg} \alpha_п}{\operatorname{tg} \alpha_б - \operatorname{tg} \alpha_п}, \quad (6)$$

где  $b_б$  – ширина торцевой поверхности бича, м;

$\alpha_п$  – угол наклона передней поверхности бича, рад;

$h_б$  – высота основания бича, м;

$\alpha_б$  – угол наклона боковой поверхности бича, рад.

Высоту бича  $h'_б$  найдем по зависимости

$$h'_б = h_б - \frac{b'_б}{\operatorname{tg} \alpha_п}. \quad (7)$$

Величину подъема боковой поверхности бича  $j$  определим по зависимости

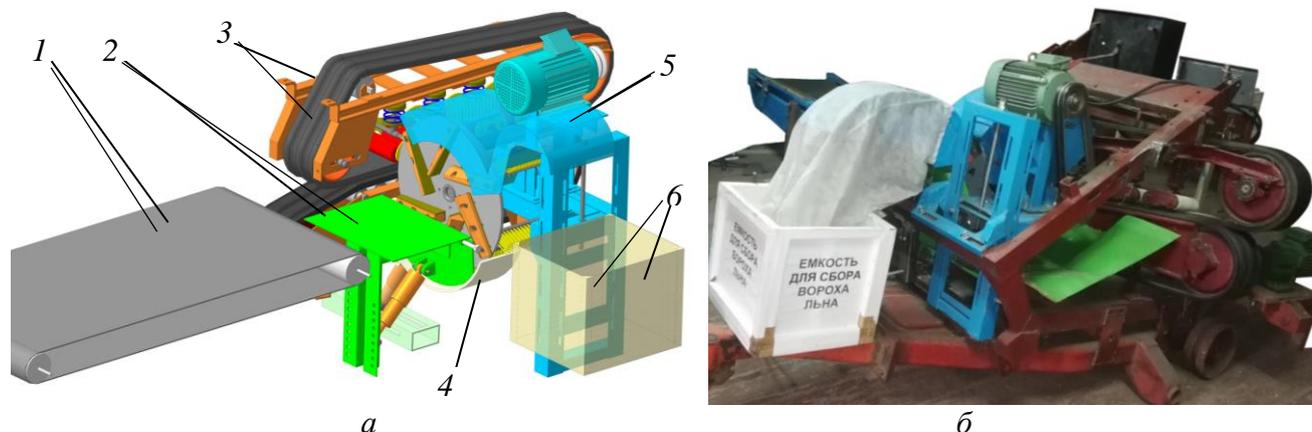
$$j = \frac{b_б + \operatorname{tg} \beta_б \sqrt{R^2 - r^2} - \frac{h_б b'_б}{h_б - h'_б}}{\frac{b'_б}{\operatorname{tg} \alpha_б (h_б - h'_б)} - 1}, \quad (8)$$

где  $\beta_б$  – угол между ребрами задней поверхности бича (продольный угол наклона боковой поверхности к плоскости диска), рад, м.

Высота защитного кольца  $h_к$



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 [8; 9; 10; 11; 13; 36; 37; 39; 46; 37; 39; 46].



***а*** – схема лабораторной установки; ***б*** – общий вид лабораторной установки;  
***1*** – подающий транспортер; ***2*** – модуль стол-дека; ***3*** – зажимной транспортер;  
***4*** – нижняя дека; ***5*** – модуль ротора; ***6*** – емкость для сбора вороха.

**Рисунок 7 – Общая схема лабораторной установки**

В результате исследований были приняты следующие факторы и определены их верхние и нижние границы (таблица 1) [16].

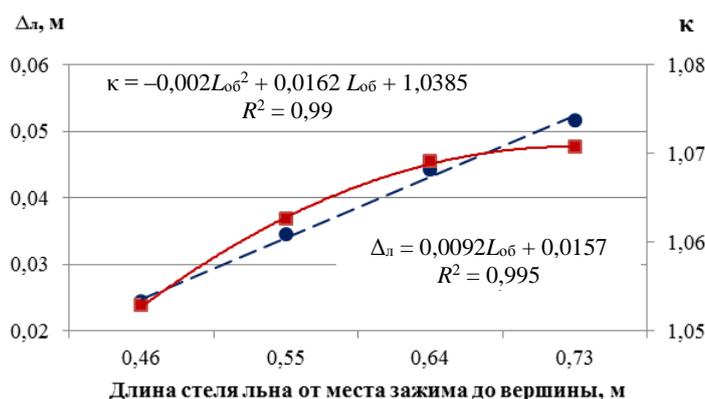
**Таблица 1 – Факторы, диапазон их изменения и значения опорных точек**

Наименование фактора	Опорная точка	Диапазон изменения фактора
Ширина торцевой поверхности бича $b_b$ , м	0,05	0,03...0,08
Толщина ленты льна $h_{сл}$ , м	0,4	0,02...0,07
Радиальный зазор $\Delta$ , м	0,01	0,005...0,02
Осевой зазор $\Delta_o$ , м	0,005	0,001...0,011
Скорость подачи ленты льна $v_l$ , м/с	1,7	1,32...2,2
Окружная скорость ротора $v_p$ , м/с	12	7...17
Угол установки боковой деки $\tau$ , рад ( $^\circ$ )	0,209 (12)	0,174...0,349 (10...20)
Ширина зоны расположения семенных коробочек в ленте $L_{ск}$ , м	0,3	0,2...0,6
Поперечный угол наклона передней поверхности бича $\alpha_n$ , рад ( $^\circ$ )	1,22 (70)	1,05...1,48 (60...85)
Поперечный угол наклона боковой поверхности бича $\alpha_b$ , рад ( $^\circ$ )	0,524 (30)	0,35...0,785 (20...45)
Влажность $W$ , %	50	10...60

В качестве результирующих параметров были приняты чистота обмолота ( $Ч_{об}$ ) и степень повреждения стеблей льна ( $П_c$ ) [15; 16; 39].

**В четвертой главе «Результаты экспериментальных исследований»** приведены результаты экспериментальных исследований относительного удлинения стеблей в ленте льна под действием растягивающих сил обмолачивающего аппарата в зависимости от длины участка льна, находящегося в зоне обмолота, и процесса обмолота лент льна роторно-бильным аппаратом.

В ходе исследований удлинения стеблей льна под действием растягивающих сил обмолачивающего устройства в зависимости от длины участка льна, находя-



**Рисунок 8 – Графики зависимости  $\Delta_l$  и  $\kappa$  от  $L_{об}$**

щегося в зоне обмолота, установлено (рисунок 8), что на участке стебля от 0,46 до 0,73 м при используемом способе нагружения удлинение  $\Delta_l$  имеет линейную зависимость от  $L_{об}$ , а относительное удлинение описывается квадратным уравнением  $\kappa = -0,002 \cdot L_{об} + 0,0162 \cdot L_{об} + 1,0385$ , коэффициент детерминации  $R_2 = 0,99$ . Из графика (рисунок 8) видно, что с увеличением  $L_{об}$  относительное удлинение

стебля увеличивается, что связано с неоднородностью строения стебля льна, его кривизной и относительным перекосом стеблей в ленте льна [18; 19].

Проведенные поисковые эксперименты позволили определить рациональные интервалы варьирования факторов при обмолоте лент льна: толщина обрабатываемой ленты льна – 0,03...0,05 м; осевой зазор – 0,001...0,004 м; радиальный зазор – 0,007...0,017 м; угол установки боковой деки – 0,244...0,314 рад (14°...18°); ширина зоны расположения семенных коробочек в ленте – 0,2...0,4 м; окружная скорость ротора – 7...11,5 м/с; скорость подаваемой на обмолот ленты льна – 1,3...2,2 м/с [16].

После проведения отсеивающего эксперимента и крутого восхождения были определены наиболее значимые факторы, влияющие на процесс обмолота лент льна роторно-бильным аппаратом (показатель интенсивности воздействия; толщина слоя ленты льна; зазор между ротором и декой). Получены уравнения регрессии для определения чистоты обмолота и степени повреждения стеблей льна, адекватно описывающие данный процесс (проверка соответствия производилась по критерию Фишера) [15]:

чистота обмолота

$$\begin{aligned}
 \text{Ч}_{об} = & 1,2587 - 0,9534h_{сл} + 14,0585\Delta - 0,4984q + 25,0h_{сл}\Delta + \\
 & + 5,35h_{сл}q - 7,25\Delta q - 97,25h_{сл}^2 - 290,75\Delta^2 + 0,1538q^2, \quad (11)
 \end{aligned}$$

степень повреждения стеблей

$$\begin{aligned}
 \text{П}_с = & 0,1285 - 0,3525h_{сл} - 0,0815\Delta - 0,13787q + 42,5h_{сл}\Delta - \\
 & - 1,35h_{сл}q - 3,0\Delta q + 15,0h_{сл}^2 + 62,5\Delta^2 + 0,09q^2, \quad (12)
 \end{aligned}$$

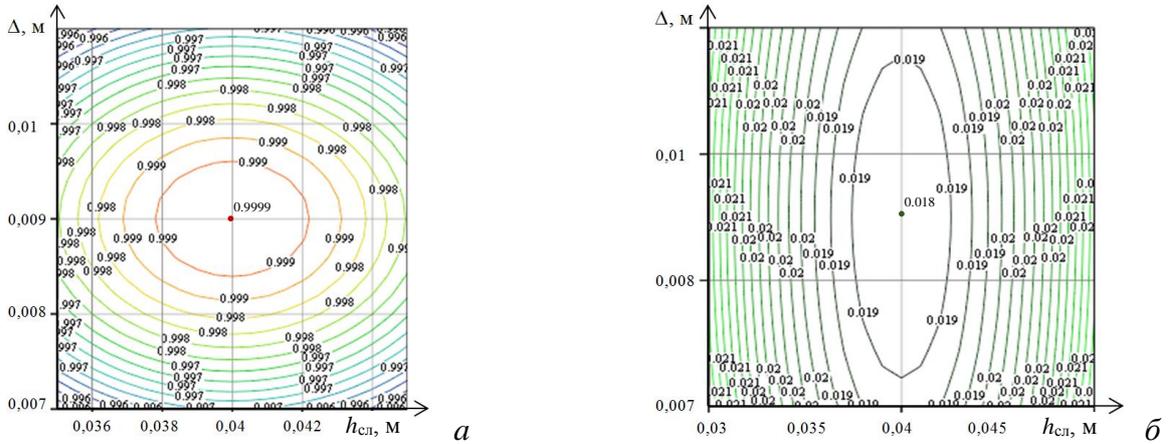
где  $h_{сл}$  – толщина ленты льна, м;

$\Delta$  – радиальный зазор, м;

$q$  – кратность воздействий бичами на фрагмент ленты льна.

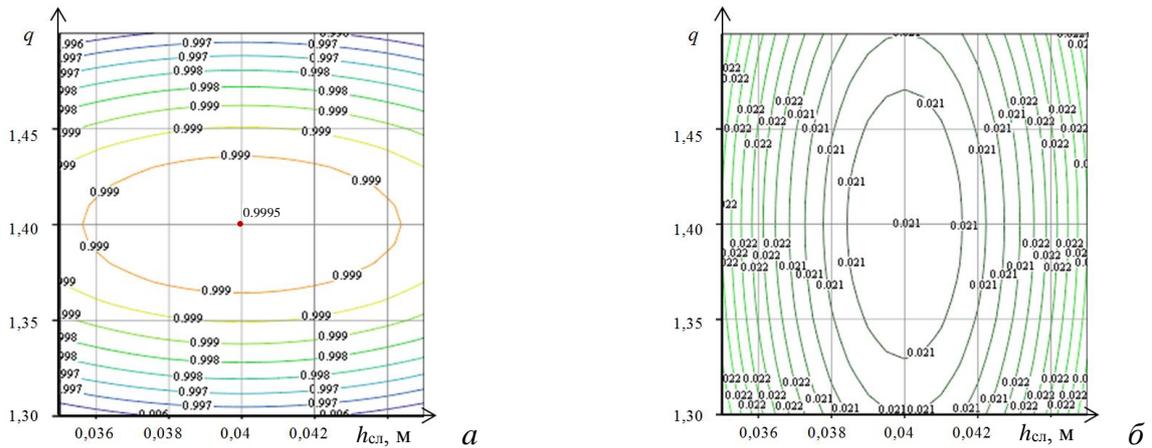
На основании уравнений регрессии второго порядка (11) и (12) определены координаты оптимума и изучены свойства поверхностей отклика в окрестностях оптимума. Для каждого параметра определены оптимальные значения.

Изучение поверхности отклика проводилось методом двумерных сечений (рисунки 9–11). Полученные выражения подвергались графоаналитическому анализу для которого использовались графики в координатах независимых переменных с натуральным масштабом.



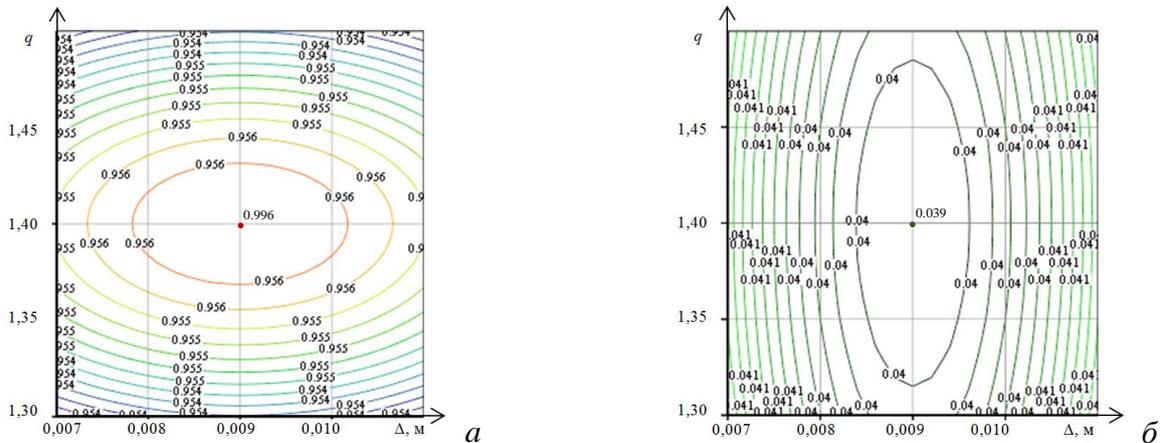
***a* – чистота обмолота Ч<sub>об</sub>; *б* – степень повреждения стеблей П<sub>с</sub>.**

**Рисунок 9 – Двумерное сечение поверхности отклика для факторов  $\Delta$  и  $h_{сл}$**



***a* – чистота обмолота Ч<sub>об</sub>; *б* – степень повреждения стеблей П<sub>с</sub>.**

**Рисунок 10 – Двумерное сечение поверхности отклика для факторов  $q$  и  $h_{сл}$**



***a* – чистота обмолота Ч<sub>об</sub>; *б* – степень повреждения стеблей П<sub>с</sub>.**

**Рисунок 11 – Двумерное сечение поверхности отклика для факторов  $q$  и  $\Delta$**

Анализируя полученные графические зависимости (рисунки 9–11), можно отметить, что область оптимума исследуемых факторов находится в следующих пределах: толщина ленты льна – от 0,037 до 0,043 м; зазор между ротором и декой – от 0,007 до 0,011 м; показатель интенсивности воздействия – от 1,32 до 1,5.

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

Целевая функция

$$Ч_{об} = 1,2587 - 0,9534h_{сл} + 14,0585\Delta - 0,4984q + 25,0h_{сл}\Delta + 5,35h_{сл}q - 7,25\Delta q - 97,25h_{сл}^2 - 290,75\Delta^2 + 0,1538q^2 \rightarrow \max. \quad (13)$$

$$\begin{cases} 0,03 \leq h_{сл} \leq 0,05; \\ 0,007 \leq \Delta \leq 0,011; \\ 1,3 \leq q \leq 1,5; \\ \Pi_c = 0,1285 - 0,3525h_{сл} - 0,0815\Delta - 0,13787q + 42,5h_{сл}\Delta - \\ - 1,35h_{сл}q - 3,0\Delta q + 15,0h_{сл}^2 + 62,5\Delta^2 + 0,09q^2 \leq 0,03; \end{cases} \quad (14)$$

Чистота обмолота  $Ч_{об} = 0,996$  при допустимом значении степени повреждения стеблей льна (до 3 %) достигается при оптимальных значениях основных факторов: показатель интенсивности воздействий бичей на фрагмент ленты льна – 1,5; радиальный зазор – 0,01 м; толщина ленты льна 0,041 м [15].

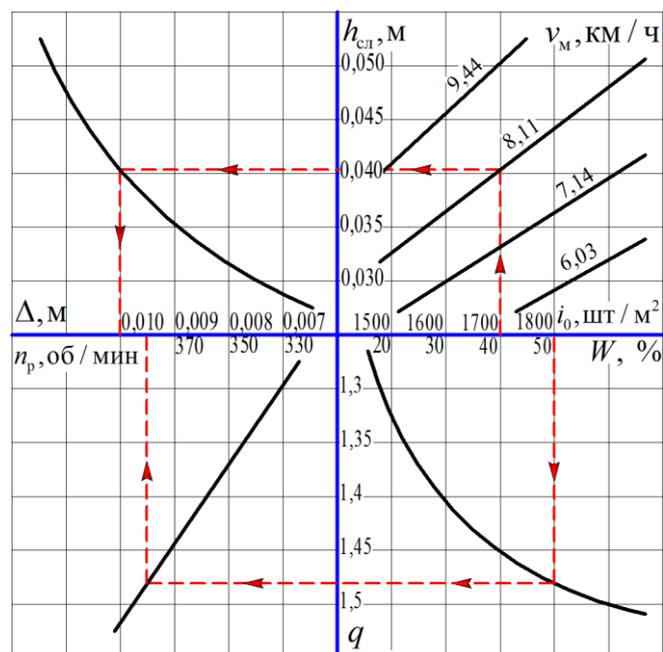
**В пятой главе** «Реализация результатов исследований и расчет экономической эффективности» приведены результаты производственных испытаний льноуборочного комбайна оборудованного роторно-бильным аппаратом и его сравнительных испытаний.

Производственные испытания позволили подтвердить рациональные значения параметров роторно-бильного аппарата при обмолоте лент льна. Получены закономерности изменения чистоты обмолота и степени повреждения стеблей льна от радиального зазора в фазе желтой и бурой спелости льна при различных окружных скоростях ротора [17; 20; 38].

По результатам сравнительных испытаний серийного и предлагаемого обмолачивающих аппаратов на льноуборочном комбайне «Двина-4М» установлено, что применение роторно-бильного аппарата позволяет увеличить производительность переоборудованного льнокомбайна на 8,7 %, снизить общие потери семян на 32,35 % (с 3,81 до 2,57 %), снизить потери от недоочеса на 4,2...7,32 %, повреждение стеблей льна, влияющее на выход длинного льноволокна, на 38,01 % (с 3,0 до 1,86 %), уменьшить содержание путанины в структуре льняного вороха в среднем на 56,5 %, а общий объем льновороха – на 28,5...56,3 % [17; 20; 35; 38].

По результатам исследований в 2019 году проведена оценка возможности

использования роторно-бильного аппарата в ОАО «Ореховский льнозавод» на подборщике-очесывателе ПОЛ-1. В ОАО «Дворецкий льнозавод» в период 3–11 августа 2021 года проводились производственные испытания опытного образца обмолачивающего устройства. По результатам исследований получен протокол испытаний и акт о практическом использовании результатов исследований в ОАО «Дворецкий льнозавод».



$v_m$  – скорость движения комбайна, км/ч;

$i_0$  – густота стеблестоя, шт./м<sup>2</sup>;  $W$  – влажность убираемого льна, %;  $h_{сл}$  – толщина слоя стеблей

льна, м;  $\Delta$  – радиальный зазор, м;  $n_p$  – частота

вращения ротора, об/мин;  $q$  – кратность

воздействий бичами на фрагмент ленты льна, шт.

Рисунок 12 – Номограмма для выбора

технологических параметров разработанного

обмолачивающего устройства

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 научнотехническим советом Центра научнотехнических разработок ОАО «Управляющая компания холдинга «Бобруйск-агромаш» и приняты к использованию при проектировании новых машин для уборки и первичной переработки льна.

Разработана номограмма (рисунок 12), которая позволяет исходя из состояния стеблестоя (густота стеблестоя и влажность) определить параметры и режимы работы льноуборочного комбайна с роторно-бильным аппаратом с учетом обеспечения требуемого качества уборки [17].

Расчетный годовой экономический эффект от применения роторно-бильного аппарата на площади 50 га составил 7831 руб. в ценах I квартала 2023 года, что в расчете на один гектар составило 156,6 руб. в ценах I квартала 2023 года [17; 20].

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

### Основные научные результаты диссертации

1. Установлено, что отношение радиуса ротора к радиусу защитного кольца роторно-бильного аппарата является постоянной величиной для принятого значения предельного угла изгиба стеблей льна. Полученный безразмерный показатель  $i = R/r$  является параметром подобия обмолачивающих устройств, сконструированных по предлагаемой схеме взаимного расположения рабочих органов. Получены зависимости для определения радиусов ротора и защитного кольца из условия ненаматывания стеблей льна на защитное кольцо с учетом возможного удлинения стеблей, что в совокупности позволило установить минимальные значения радиусов ротора  $R = 0,345$  м и защитного кольца  $r = 0,120$  м [12; 19].

Получены аналитические зависимости для определения параметров бича как объемной фигуры с учетом радиусов ротора и защитного кольца, ширины торцевой поверхности бича, поперечного угла наклона боковой поверхности бича к плоскости диска, продольного угла наклона боковой поверхности бича, поперечного угла наклона передней поверхности бича и количества установленных на роторе бичей [18].

Получена аналитическая зависимость, устанавливающая связь между кратностью воздействий бичами на фрагмент ленты льна, конструктивными (радиусом ротора, шириной торцевой поверхности бича, количеством установленных на роторе бичей) и кинематическими (окружной скоростью ротора и скоростью движения зажимного транспортера) параметрами роторно-бильного аппарата, что позволило установить минимальные значения окружной скорости ротора  $v_p = 7,0$  м/с и ширины торцевой поверхности бича  $b_6 = 0,03$  м и рациональное значение количества бичей  $k_6 = 6 \dots 12$  шт. [16; 18].

2. Получены эмпирические зависимости удлинения  $\Delta_l$  стеблей и коэффициента к удлинению стеблей в ленте от ширины  $L_{об}$  выступающего из зажимного транспортера участка ленты, позволяющие уточнить радиусы ротора и защитного кольца [18; 19].

Получены зависимости чистоты обмолота и степени повреждения стеблей льна от геометрических параметров бича ротора. Установлены рациональные значения поперечного угла боковой поверхности бича  $\alpha_6 = 0,47$  рад ( $27^\circ$ ), поперечного угла передней поверхности бича  $\alpha_{п} = 1,4$  рад ( $80^\circ$ ), ширины торцевой поверхности бича  $b_6 = 0,055$  м [16; 18].

3. Получены математические модели, описывающие процесс обмолота ленты льна роторно-бильным аппаратом и позволяющие определить значения факторов, обеспечивающие наибольшую чистоту обмолота ( $\text{Ч}_{об} = 0,996$ ) при степени повреждения стеблей не более 3 %: толщины ленты льна  $h_{сл} = 0,041$  м; радиального за-

зора  $\Delta = 0,01$  м; кратности воздействий бичами на фрагмент ленты льна  $q = 1,5$  [15].

4. Производственные испытания показали повышение эффективности работы льноуборочного комбайна «Двина-4М» с разработанным роторно-бильным аппаратом по сравнению с серийным гребневым очесывающим аппаратом. Установлено: увеличение производительности переоборудованного льнокомбайна на 8,7 %, снижение общих потерь семян с 3,81 до 2,57 %, снижение повреждения стеблей льна с 3,0 до 1,86 %. Применение роторно-бильного аппарата на льноуборочном комбайне позволило уменьшить содержание путанины в льняном ворохе в среднем на 56,5 %, а общий объем льновороха – на 28,5 %...56,3 %, при этом объемная масса вороха увеличилась на 9 % (с 140 до 152,8 кг/м<sup>3</sup>). Расчетный годовой экономический эффект применения роторно-бильного аппарата составил 7831 рубль (156,6 руб/га) в ценах I квартала 2023 г. [17; 20; 35; 38].

### **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 и одобрены научным советом РУП «Институт льна» НАН Беларуси и рекомендованы к использованию на льноуборочных комбайнах.

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 05.01.2021 г., акт о внедрении № 99 от 31.10.2023 г.) и на кафедре механизации растениеводства и практического обучения (акт о внедрении № 100 от 31.10.2023 г.) при изучении современных технологий и машин для уборки и первичной переработки льна.

**СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ СОИСКАТЕЛЯ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ****Монографии**

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**

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

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

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

5. Шаршунов В. А., Алексеенко А. С., **Цайц М. В.** Состояние льноводческой отрасли Республики Беларусь и пути повышения ее эффективности // Вестн. Белорус. гос. с.-х. акад. – 2019. – № 2. – С. 267–271.

6. **Цайц М. В.** Определение усилия разрушения коробочек льна-долгунца // Вестн. Белорус. гос. с.-х. акад. – 2021. – № 4. – С. 93–99.

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

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

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

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

11. Курзенков С. В., Левчук В. А., **Цайц М. В.** Теоретическое обоснование

молотильного зазора обмолачивающего устройства линии первичной переработки льна // Вестн. Белорус. гос. с.-х. акад. – 2022. – № 2. – С. 160–164.

12. Обоснование рациональной схемы расположения элементов роторного устройства для отделения семенной части от стеблей льна и конструктивных его параметров / С. В. Курзенков, М. В. Симонов, **М. В. Цайц** и др. // Вестн. Нижегород. гос. инж.-экон. ин-та. – 2022. – № 10 (137). – С. 7–19. – DOI 10.24412/2227-9407-2022-10-7-19.

13. Левчук В. А., Симонов М. В., Курзенков С. В., **Цайц М. В.** Результаты отсеивающего эксперимента по обмолоту лент льнотресты в линии первичной переработки устройством с эластичным рабочим органом // Вестн. Нижегород. гос. инж.-экон. ин-та. – 2022. – № 12 (139). – С. 18–30. – DOI 10.24412/2227-9407-2022-12-18-30.

14. Шаршунов В. А., Кожановский В. А., **Цайц М. В.** Анализ обеспеченности льносеющих хозяйств Республики Беларусь техническими средствами для уборки льна-долгунца // Вестн. Белорус. гос. с.-х. акад. – 2022. – № 4. – С. 150–156.

15. **Цайц М. В.** Результаты экспериментальных исследований процесса обмолата лент льна роторным бильно-вычесывающим устройством // Вестн. Нижегород. гос. инж.-экон. ин-та. – 2023. – № 2(141). – С. 19–34. – DOI 10.24412/2227-9407-2023-2-19-34.

16. **Цайц М. В.** Поисковые эксперименты процесса обмолата лент льна роторным бильно-вычесывающим устройством // Вестн. Белорус. гос. с.-х. акад. – 2023. – № 1. – С. 156–164.

17. Повышение эффективности получения семян льна-долгунца при комбайновой уборке / В. А. Шаршунов, **М. В. Цайц**, С. В. Курзенков и др. // Вестн. Нижегород. гос. инж.-экон. ин-та. – 2023. – № 7 (146). – С. 44–59. – DOI 10.24412/2227-9407-2023-7-44-59.

18. **Цайц М. В.** Обоснование параметров и режимов работы роторного бильно-вычесывающего устройства для обмолата льна / Вестн. Белорус. гос. с.-х. акад. – 2023. – № 2. – С. 167–172.

19. Теоретическое обоснование радиусов ротора и защитного кольца роторного бильно-вычесывающего устройства / В. А. Шаршунов, А. Н. Карташевич, **М. В. Цайц** и др. // Агропанорама. – 2023. – № 3 (149). – С. 14–21.

20. Результаты производственных испытаний и экономическая оценка применения роторного бильно-вычесывающего устройства на льноуборочном комбайне / В. А. Шаршунов, В. Н. Босак, **М. В. Цайц** и др. // Вес. Нац. акад. навук Беларусі. Сер. аграр. навук. – 2023. – Т. 61, № 4. – С. 324–336. <https://doi.org/10.29235/1817-7204-2023-61-4-324-336>.

**Сборники статей и материалы конференций**

21. **Цайц М. В.** Совершенствование производства семян льна-долгунца в Республике Беларусь // Молодежь и инновации – 2011: Материалы Междунар. науч.-практ. конф. молодых ученых: 4 ч. / гл. ред. А. П. Курдеко. – Горки: БГСХА, 2011. – Ч. 2. – С. 46–48.

22. Сентюров П. Д., **Цайц М. В.**, Кругленя В. Е. Повышение эффективности технологии уборки льна-долгунца путем использования роторного устройства для очеса головок // Конструирование, использование и надежность машин сельскохозяйственного назначения: сб. науч. работ Междунар. науч.-техн. конф. – Брянск: Изд. Брянск. гос. с.-х. акад., 2012. – С. 33–37.

23. Кругленя В. Е., **Цайц М. В.**, Сентюров П. Д. Совершенствование комбайнового способа уборки льна-долгунца в условиях Республики Беларусь // Конструирование, использование и надежность машин сельскохозяйственного назначения: сб. науч. работ Междунар. науч.-техн. конф. – Брянск: Изд. Брянск. гос. с.-х. акад., 2012. – С. 44–48.

24. Кругленя В. Е., Сентюров П. Д., **Цайц М. В.** Повышение качества очеса льна-долгунца путем использования роторного очесывающего устройства // 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: Вят. гос. с.-х. акад., 2013. – Ч. 2: Технические и экономические науки. – С. 52–54.

25. Кругленя В. Е., Сентюров П. Д., **Цайц М. В.** Анализ существующих и перспективных обмолачивающих аппаратов, применяемых при отдельной технологии уборки льна // Молодежь и инновации – 2013: Материалы Междунар. науч.-практ. конф. молодых ученых: 4 ч. / гл. ред. А. П. Курдеко. – Горки: БГСХА, 2013. – Ч. 2. – С. 299–302.

26. Кругленя В. Е., **Цайц М. В.** Обоснование технологической схемы льноуборочного комбайна // Актуальные проблемы агроинженерии и их инновационные решения: сб. науч. тр. / ФГБОУ ВПО РГАТУ; редкол.: А. Н. Бачурин [и др.]. – Рязань, 2013. – С. 210–214.

27. Кругленя В. Е., Левчук В. А., **Цайц М. В.** Устройства для отделения семенных коробочек от стеблей – очесывающие аппараты // Конструирование, использование и надежность машин сельскохозяйственного назначения: сб. науч. работ XXVII Междунар. науч.-техн. конф. – Брянск: Изд-во Брянск. ГАУ, 2015. – С. 168–179.

28. Разработка и обоснование рациональной конструкции устройства для очеса коробочек льна / В. Е. Кругленя, А. С. Алексеенко, **М. В. Цайц** и др. // Конструирование, использование и надежность машин сельскохозяйственного

назначения: сб. науч. работ XXVII Междунар. науч.-техн. конф. – Брянск: Изд. Брянск. ГАУ, 2015. – С. 78–82.

29. Левчук В. А., **Цайц М. В.**, Кругленя В. Е. Анализ состояния производства льна-долгунца в Республике Беларусь // Наука и молодежь: 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.

30. Шкляров М. И., **Цайц М. В.** Разработка роторного очесывающе-транспортирующего устройства // Наука и молодежь: новые идеи и решения: Материалы X Междунар. науч.-практ. конф. молодых исследователей, Волгоград, 15–17 марта 2016 г. – Волгоград: ФГБОУ ВО «Волгогр. ГАУ», ИПК «Нива», 2016. – Ч. III. – С. 337–339.

31. **Цайц М. В.**, Алексеенко А. С. Анализ состояния уборки льна-долгунца в Республике Беларусь // Аграрная наука – сельскому хозяйству: сб. материалов: XIII Междунар. науч.-практ. конф., (15–16 февр. 2018 г.: в 2 кн.). – Барнаул: РИО Алт. ГАУ, 2018. – Кн. 2. – С. 202–203.

32. Сентюров Н. С., **Цайц М. В.** Состояние уборки и переработки льна-долгунца в Республике Беларусь и перспективы развития // Тракторы, автомобили и машины для природообустройства: Материалы Междунар. науч.-практ. конф., посвящ. 50-летию кафедры мелиоративных и строительных машин УО БГСХА / Белорус. гос. с.-х. акад.; редкол.: А. Н. Карташевич (гл. ред.) [и др.]. – Горки, 2018. – С. 95–98.

33. **Цайц М. В.**, Домчев Ю. И. Исследование изгибающего воздействия роторного бильно-вычесывающего устройства на ленту льна // Инновационные решения в технологиях и механизации сельскохозяйственного производства: сб. науч. тр. / Белорус. гос. с.-х. акад. – Горки: БГСХА, 2021. – Вып. 6. – С. 164–169.

34. Домчев Ю. И., **Цайц М. В.** Определение основных конструктивных параметров роторного устройства для обмолота льна // Инновационные решения в технологиях и механизации сельскохозяйственного производства: сб. науч. тр. / Белорус. гос. с.-х. акад. – Горки: БГСХА, 2021. – Вып. 6. – С. 170–175.

35. **Цайц М. В.** Сравнительный анализ размерно-массовых характеристик вороха льна-долгунца // Инновационные решения в технологиях и механизации сельскохозяйственного производства: сб. науч. тр. / Белорус. гос. с.-х. акад. – Горки: БГСХА, 2022. – Вып. 7. – С. 285–289.

36. Чайчиц А. Н., **Цайц М. В.**, Домчев Ю. И. Определение растянутости ленты льна: теоретические аспекты // Инновационные решения в технологиях и механизации сельскохозяйственного производства: сб. науч. тр. / Белорус. гос. с.-х. акад. – Горки: БГСХА, 2022. – Вып. 7. – С. 290–293.

37. **Цайц М. В.** К вопросу сообразности применения растянутости ленты

льна как фактора при исследовании обмолачивающих и очесывающих устройств // Ресурсосберегающие технологии в агропромышленном комплексе России: Материалы III Междунар. науч. конф. / Краснояр. гос. аграр. ун-т. – Красноярск, 2022. – С. 163–167.

38. **Цайц М. В.** Роторное бильно-вычесывающее устройство для отделения семян от стеблей льна // Инновационные технологии в агропромышленном комплексе – сегодня и завтра: сб. науч. ст. 6-й Междунар. науч.-практ. конф. – Гомель: Науч.-техн. центр комбайностроения ОАО «Гомсельмаш», 2022. – С. 227–232.

39. **Цайц М. В.** Факторы и критерии оптимизации устройств для отделения семян от стеблей льна // Инновационные решения в технологиях и механизации сельскохозяйственного производства: сб. науч. тр. / Белорус. гос. с.-х. акад. – Горки: БГСХА, 2023. – Вып. 8. – С. 188–192.

### Тезисы докладов

40. **Цайц М. В.**, Левчук В. А. Результаты теоретических исследований роторного очесывающего устройства // Новые материалы, оборудование и технологии в промышленности: Материалы Междунар. науч.-техн. конф. молодых ученых / М-во обр. Респ. Беларусь, М-во обр. и науки Рос. Федерации, Белорус.-Рос. ун-т; редкол.: И. С. Сазонов (гл. ред.) [и др.]. – Могилев: Белорус.-Рос. ун-т, 2016. – 36 с.

### Статьи в журналах

41. Кругленя В. Е., **Цайц М. В.**, Сентюров П. Д. Анализ применения механизированных технологий уборки льна-долгунца в Республике Беларусь // Конструирование, использование и надежность машин сельскохозяйственного назначения. – 2013. – № 1 (12). – С. 35–41.

42. Кругленя В. Е., Сентюров П. Д., **Цайц М. В.** Обоснование кинематических параметров роторного очесывающего аппарата // Конструирование, использование и надежность машин сельскохозяйственного назначения. – 2013. – № 1 (12). – С. 74–78.

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

44. Кругленя В. Е., Радовский А. С., **Цайц М. В.** Устройство для отделения головок льна в линии переработки // Вестн. Брянск. гос. с.-х. акад. – 2014. – № 3. – С. 41–44.

45. Обоснование конструктивных параметров барабанно-планчатого устройства для очеса стеблей льна / В. Е. Кругленя, **М. В. Цайц**, В. А. Левчук и др. // Вестн. Брянск. гос. с.-х. акад. – 2014. – № 3. – С. 38–41.

46. **Цайц М. В.**, Курзенков С. В., Левчук В. А. Теоретическое обоснование молотильного зазора устройства для обмолота льна // Конструирование, использование и надежность машин сельскохозяйственного назначения. – 2022. – № 1 (21). – С. 213–218.

### Патенты

47. ВУ 7742 U, 30.12.2011.

48. ВУ 7947 U, 28.02.2012.

49. ВУ 9863 U, 28.02.2014.

50. ВУ 10253 U, 30.08.2014.

51. ВУ 21293 C1, 30.08.2017.

52. RU 2788696 C1, 24.01.2023.

**РЭЗІЮМЭ**

Цайц Максім Валер'евіч

**Аддзяленне насеннай часткі ад сцёблаў ільну ротарна-більным апаратам пры камбайнавай ўборцы**

Ключавыя словы: абмалочвальны апарат, малацьба, абчэс, камбайнавая тэхналогія, лён-даўгунец, насенны ворах ільну.

**Мэта даследаванняў:** павышэнне чысціні абмалоту стужак ільну, зніжэнне пашкоджання сцёблаў і адыходаў сцёблаў у бытаніну за кошт прымянення ротарна-більнага апарата ў ільноўборачным камбайне, 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.

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

- абгрунтаваць канструктыўна-тэхналагічную схему ротарна-більнага апарата;

- тэарэтычна даследаваць працэс абмалоту стужак ільну распрацаваным апаратам пры рэалізацыі камбайнавага спосабу ўборкі, правёўшы аналіз яго асноўных параметраў і рэжымаў працы;

- эксперыментальна ўдакладніць і пацвердзіць дакладнасць вынікаў тэарэтычных даследаванняў рабочага працэсу абмалоту стужак ільну і параметраў абмалочвальнага апарата;

- вызначыць параметры аптымізацыі, выявіць дзеючыя фактары і па выніках доследаў атрымаць матэматычныя мадэлі, якія адэкватна апісваюць працэс абмалоту стужак ільну;

- правесці вытворчыя выпрабаванні ротарна-більнага апарата і вызначыць эканамічную эфектыўнасць яго выкарыстання.

Навізна тэхнічных рашэнняў пацверджана патэнтамі Рэспублікі Беларусь і Расійскай Федэрацыі на вынаходніцтвы і карысныя мадэлі № 7742, № 21293, № 2788696.

**Рэкамендацыі па выкарыстанні.** Вынікі даследаванняў разгледжаны і адобраны Цэнтрам навукова-тэхнічных распрацовак ААТ «Кіруючая кампанія холдынгу «Бабруйскаграмаш» і прыняты да выкарыстання пры распрацоўцы новай тэхнікі, прызначанай для аддзялення насення ад сцёблаў ільну.

Вобласць прымянення. Прадпрыемствы сельскагаспадарчага машынабудавання і Мінсельгасхарча.

**РЕЗЮМЕ**

Цайц Максим Валерьевич

**Отделение семенной части от стеблей льна роторно-бильным аппаратом при комбайновой уборке**

**Ключевые слова:** обмолачивающий аппарат, обмолот, очес, комбайновая технология, лен-долгунец, семенной ворох льна.

**Цель исследований:** повышение чистоты обмолота лент льна, снижение повреждения стеблей и отхода стеблей в путанину за счет применения роторно-бильного аппарата в льноуборочном комбайне, 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 роторно-бильного аппарата;

– теоретически исследовать процесс обмолота лент льна разработанным аппаратом при реализации комбайнового способа уборки, проведя анализ его основных параметров и режимов работы;

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

– определить параметры оптимизации, выявить действующие факторы и по результатам опытов получить математические модели, адекватно описывающие процесс обмолота лент льна;

– провести производственные испытания роторно-бильного аппарата и определить экономическую эффективность его использования.

Новизна технических решений подтверждена патентами Республики Беларусь и Российской Федерации на изобретения и полезные модели № 7742, № 21293, № 2788696.

**Рекомендации по использованию.** Результаты исследований рассмотрены и одобрены 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**

Tsaits Maxim Valerievich

**Separation of the seed part from flax stems by a rotor-beater unit during combine harvesting**

**Key words:** threshing apparatus, threshing, stripping, combine technology, fiber flax, flax seed heap.

**Aim of research:** increasing the purity of threshing of flax strips, reducing damage to the stalks and waste of the stalks into a tangle due to the use of a rotary beater-combing device in a flax harvester, 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.

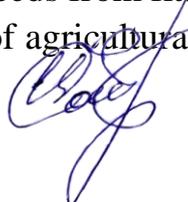
**Results and their novelty.** The performed research allowed:

- justify the design and technological scheme of the rotary beating apparatus;
- theoretically study the process of threshing flax slivers with the developed apparatus when implementing the combine harvesting method, analyzing its main parameters and operating modes;
- to experimentally clarify and confirm the reliability of the results of theoretical studies of the working process of threshing flax tapes and the parameters of the threshing apparatus;
- determine optimization parameters, identify operating factors and, based on the results of experiments, obtain mathematical models that adequately describe the process of flax sliver threshing;
- conduct production tests of the rotary beating apparatus and determine the economic efficiency of its use.

The novelty of technical solutions is confirmed by patents of the Republic of Belarus and the Russian Federation for inventions and utility models No. 7742, No. 21293, No. 2788696.

**Recommendations for usage.** The results of the research were reviewed and approved by the Center for Scientific and Technical Development of JSC "Holding Management Company "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

**Цайц Максим Валерьевич**

**ОТДЕЛЕНИЕ СЕМЕННОЙ ЧАСТИ ОТ СТЕБЛЕЙ ЛЬНА  
РОТОРНО-БИЛЬНЫМ АППАРАТОМ ПРИ КОМБАЙНОВОЙ УБОРКЕ**

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 19.03.2024.  
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