

ISSN 1817-7204 (Print)

ISSN 1817-7239 (Online)

УДК 631.358.022:633.521

<https://doi.org/10.29235/1817-7204-2023-61-4-324-336>

Поступила в редакцию 09.03.2023

Received 09.03.2023

**В. А. Шаршунов¹, В. Н. Босак², М. В. Цайц², В. И. Коцуба²,
Т. Л. Хроменкова², В. А. Левчук²**

¹*Белорусский государственный университет пищевых и химических технологий,
Могилев, Республика Беларусь*

²*Белорусская государственная сельскохозяйственная академия, Горки, Республика Беларусь*

РЕЗУЛЬТАТЫ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ИСПЫТАНИЙ И ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ПРИМЕНЕНИЯ РОТОРНОГО БИЛЬНО-ВЫЧЕСЫВАЮЩЕГО УСТРОЙСТВА НА ЛЬНОУБОРОЧНОМ КОМБАЙНЕ

Аннотация. Приведены результаты производственных исследований разработанного в Белорусской сельскохозяйственной академии роторного бильно-вычесывающего устройства для отделения семян от стеблей льна при реализации комбайновой технологии уборки. В результате исследований выявлены закономерности изменения чистоты обмолота, степени повреждения семян и стеблей от толщины обмолачиваемой ленты стеблей льна разработанным устройством, установленным в льноуборочный комбайн «Двина-4М». Выявлены закономерности изменения чистоты обмолота и степени повреждения стеблей льна от зазора между ротором и декой в фазе желтой и бурой спелости льна при различных скоростях вращения ротора. Представлены результаты сравнительных испытаний льноуборочного комбайна, оборудованного роторным бильно-вычесывающим устройством, в сравнении с льноуборочным комбайном, оборудованным однобарабанным гребневым очесывающим устройством. Применение роторного бильно-вычесывающего устройства на льноуборочном комбайне позволяет увеличить производительность комбайна на 8,7 %, снизить общие потери семян на 32,35 % и потери от недоочеса на 4,2–7,32 %, уменьшить повреждения стеблей льна, влияющие на выход длинного льноволокна, на 38,01 %. В результате исследований отмечено сокращение объема получаемого льняного вороха при использовании роторного бильно-вычесывающего устройства в зависимости от качества стеблестоя и фазы спелости льна на 28,5–56,3 % в сравнении с гребневым аппаратом. Годовой экономический эффект применения роторного бильно-вычесывающего устройства составит 7831 руб., экономический эффект в расчете на 1 га – 156,6 руб. в ценах I квартала 2023 г.

Ключевые слова: лен-долгунец, уборка льна, обмолачивающее устройство, чистота обмолота, повреждения стеблей льна, повреждения семян льна

Для цитирования: Результаты производственных испытаний и экономическая оценка применения роторного бильно-вычесывающего устройства на льноуборочном комбайне / В. А. Шаршунов [и др.] // Вес. Нац. акад. наук Беларуси. Сер. аграр. наук. – 2023. – Т. 61, № 4. – С. 324–336. <https://doi.org/10.29235/1817-7204-2023-61-4-324-336>

**Vyacheslav A. Sharshunov¹, Viktor N. Bosak², Maksim V. Cajc², Viktor I. Kocuba²,
Tatsiana L. Khromenkova², Vitalij A. Levchuk²**

¹*Belarusian State University of Food and Chemical Technologies, Mogilev, Republic of Belarus*

²*Belarusian State Agricultural Academy, Gorki, Republic of Belarus*

RESULTS OF PRODUCTION TESTS AND ECONOMIC EVALUATION OF A ROTARY BEATER-COMBING DEVICE ON A FLAX HARVESTER

Abstract. The results of production tests of a rotary beater-combing device developed at the EE BSAA for separating seeds from flax stalks in the implementation of combine harvesting technology are presented in the paper. As a result of the research, regularities were determined for changes in the purity of threshing, the degree of damage to seeds and stems depending on the thickness of the strip of flax stems threshed by the developed device installed in the “Dvina-4M” flax harvester. Regularities of changes in the purity of threshing and the degree of damage to flax stalks from the gap between the rotor and deck in the phase of yellow and brown ripeness of flax at different rotor speeds have been determined. The results of comparative tests of a flax harvester equipped with a rotary beater-combing device in comparison with a flax harvester equipped with a single-drum combing device are presented. Use of a rotary beater-combing device on a flax harvester allows to increase the performance of the combine by 8.7 %, reduce the total loss of seeds by 32.35 % and 4.2–7.32 % as a result of undercombing, reduce damage to flax stalks affecting the output of long flax fiber by 38.01 %. Also, a decrease in the volume of the resulting flax heap was noted when using a rotary beater-combing device, depending on the quality of the stem and the phase of flax ripeness, by 28.5–56.3 % in comparison with the comb apparatus. The annual economic effect of the rotary beater-combing device will make 7831 rubles, the economic effect per 1 ha – 156.6 rubles in prices of the I quarter of 2023.

For citation: Sharshunov V. A., Bosak V. N., Cajc M. V., Kocuba V. I., Khromenkova T. L., Levchuk V. A. Results of production tests and economic evaluation of a rotary beater-combing device on a flax harvester. *Vesti Natsyyanal' nay akademii nauk Belarusi. Seriya agrarnykh nauk = Proceedings of the National Academy of Sciences of Belarus. Agrarian series*, 2023, vol. 61, no. 4, pp. 324–336 (in Russian). <https://doi.org/10.29235/1817-7204-2023-61-4-324-336>

Введение. Урожайность льнопродукции напрямую зависит от качества семенного материала. К основным проблемам семеноводства льна в Республике Беларусь относят: сокращение числа льносемянств, недостаток семян высоких посевных кондиций. Зачастую сеют семенами массовых репродукций, что недопустимо, так как использование семян низкой репродукции приводит к снижению урожайности и качества льнопродукции.

Анализ применяемых технологий уборки льна-долгунца [1–4] показал, что в условиях Республики Беларусь получение семенного материала высоких посевных кондиций осуществляется по комбайновой и раздельной технологиям при отделении семян в поле. В результате оценки обеспеченности льнозаводов льноуборочной техникой можно сделать вывод, что, несмотря на внедрение раздельной технологии уборки, основной для получения семян льна, используемых в дальнейшем для посева, является комбайновая [5].

Основополагающим технологическим процессом получения семян является отделение семенной части урожая льна-долгунца от стеблей. От уровня его совершенства зависит величина урожая, качество льнопродукции, величина потерь, трудоемкость и энергоемкость послеуборочной доработки вороха льна. Поскольку льносеющие хозяйства Республики Беларусь для получения посевного материала в основном используют льноуборочные комбайны ЛК-4А и «Дина-4М» [1, 6–8] с гребневым очесывающим аппаратом, то получение семян сопровождается существенными материальными потерями и трудовыми затратами [1, 9–12]. Работа гребневого очесывающего аппарата льноуборочного комбайна сопровождается повышенными повреждениями и отходом части стеблей в путанину, возникающую в результате прочесывания слоя спутанных и сцепленных между собой стеблей; защемлением стеблей в межзубовом пространстве, приводящим к обрыву стеблей и выдергиванию их из зажимного транспортера; снижением степени очеса семян при повышении растянутости ленты льна (особенно выражено при работе на полеглых посевах); низкой эффективностью при работе на короткостебельном льне.

Работа гребневого очесывающего аппарата сопряжена с частыми технологическими остановками на обслуживание. Забивание межзубового пространства снижает степень очеса и может приводить к поломке самого аппарата. Известны случаи облома зубьев, скручивания приводного вала и т. п. Наличие длинностебельных примесей в льноворохе из-за их высокой влажности увеличивает затраты на его переработку.

В результате проведенного анализа устройств для отделения семян льна от стеблей [11, 12] была предложена конструктивно-технологическая схема роторного бильно-вычесывающего устройства^{1, 2} (рис. 1), отличающегося тем, что оно выполнено в виде диска 2, с одной стороны которого установлены косые бичи 3, а с другой – вычесывающе-транспортирующая щетка 4, что в сочетании с декой обеспечивает комбинированное ударное, вытирающее и вычесывающее воздействие на ленту льна.

В результате проведенных лабораторных исследований установлено, что наиболее значимыми факторами, оказывающими влияние на качественные показатели процесса (чистоту обмолота $\chi_{об}$, степень повреждения стеблей $\Pi_{с}$), являются толщина ленты льна $h_{сл}$, зазор между ротором и декой Δ , скорость зажимного транспортера $v_{тр}$, радиус ротора R , количество установленных на роторе бичей $k_б$ и ширина основания бича $b_б$, а также скорость вращения ротора v_p . Объединив ряд факторов в показатель интенсивности воздействия q , описываемый выражением

$$q = \frac{v_p \cdot k_б \cdot b_б}{v_{тр} \cdot 2 \cdot \pi \cdot R}, \quad (1)$$

был поставлен полный факторный эксперимент.

¹ Устройство для отделения семенных коробочек и семян льна от стеблей: пат. Ru 2788696 C1 / М. В. Симонов, В. А. Шаршунов, Н. С. Сентюров, М. В. Цайц. Оpubл. 24.01.2023.

² Устройство для отделения семенных коробочек льна от стеблей: пат. BY 21293 / В. Е. Круглень, В. И. Коцуба, П. Д. Сентюров, А. Д. Сентюров, М. В. Цайц, Г. А. Райлян, И. Л. Подшиваленко. Оpubл. 25.05.2017.

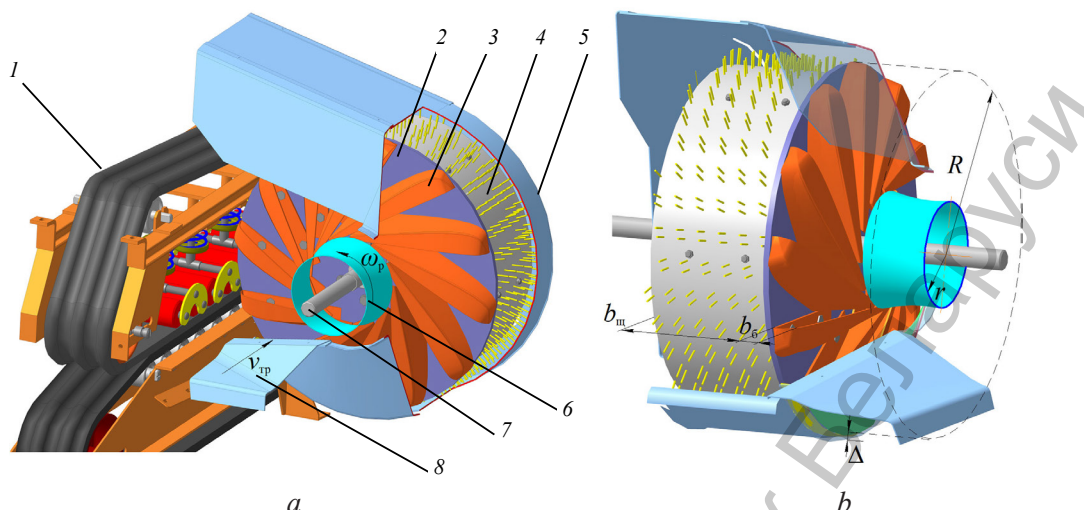


Рис. 1. Конструкция роторного бильно-вычесывающего устройства: *a* – общий вид устройства (*1* – зажимной транспортер; *2* – ротор; *3* – бичи; *4* – вычесывающе-транспортирующая щетка; *5* – кожух; *6* – кольцо; *7* – вал ротора; *8* – стол); *b* – общий вид ротора.

Fig. 1. The design of the rotary beater-combing device: *a* – general view of the device (*1* – clamping conveyor; *2* – rotor; *3* – whips; *4* – combing-transporting brush; *5* – casing; *6* – ring; *7* – rotor shaft; *8* – table); *b* – general view of the rotor.

В результате реализации полнофакторного эксперимента были получены математические модели второго порядка в раскодированном виде:

– чистота обмолота:

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

– степень повреждения стеблей:

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

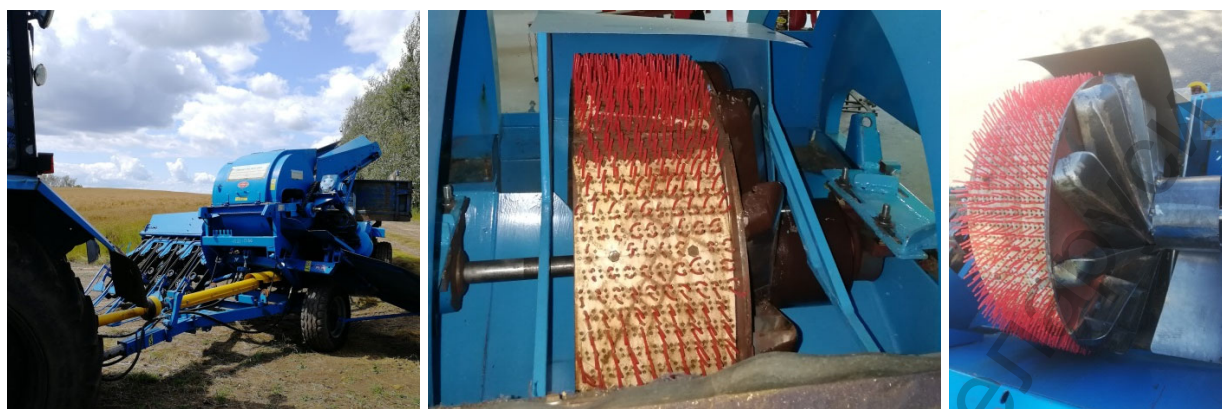
Изучение свойств поверхности отклика и определение координат оптимума моделей (2) и (3) позволило установить рациональные границы исследуемых параметров: толщина ленты льна от 0,037 до 0,043 м; зазор между ротором и декой от 0,007 до 0,011 м; показатель интенсивности воздействия от 1,32 до 1,50.

Объекты и методы исследований. На основании результатов, полученных при проведении теоретических и экспериментальных исследований роторного бильно-вычесывающего устройства, был изготовлен опытный образец устройства, который установили в льноуборочный комбайн «Двина-4М» (далее – «Двина-4М(р)» (рис. 2) вместо серийного гребневого очесывающего аппарата.

Испытания машинно-тракторного агрегата в составе «Беларус-820» + «Двина-4М(р)» + 2ПТС-4 проходили на поле ОАО «Дворецкий льнозавод», урочище Петруки, 03–11 августа 2021 г. Вид работы – теребление льна-долгунца, очес, сбор вороха и расстил стеблей в ленту. На момент начала опытов лен находился в стадии желтой спелости.

В табл. 1 приведены показатели условий испытаний переоборудованного льнокомбайна с бильно-вычесывающим устройством. Остальные показатели соответствовали ТУ 23.2.1303-92 на льнокомбайн «Двина-4М».

Полевые исследования переоборудованного льноуборочного комбайна проводились после регулировки основных узлов и установки заданных режимов работы, полученных путем теоретических и лабораторных исследований.



a

b

c

Рис. 2. Льноуборочный комбайн «Двина-4М» с роторным бильно-вычесывающим устройством: а – общий вид МТА; б – обмолачивающее устройство в камере обмолота с кожухом; с – обмолачивающее устройство в камере обмолота без кожуха

Fig. 2. Flax harvester “Dvina-4M” with a rotary beater-combing device: а – general view of MTU; б – threshing device in the threshing chamber with a casing; с – threshing device in the threshing chamber without casing

Таблица 1. Показатели условий испытаний

Table 1. Test conditions indicators

Показатель	Значение показателя	
	по ТУ	при испытаниях
Культура, сорт	Лен-долгунец	Лен-долгунец, Ласка (1-й репродукции)
<i>Характеристика культуры, технологического материала, поля</i>		
Рельеф, град	Уклон не более 10	Уклон не более 10
Фаза спелости льна	Желтая, бурая	Желтая, бурая
Спелость коробочек по семенам, %:		
зеленые	Нет данных	14,0
желтые	Нет данных	21,0
бурые	Нет данных	65,0
Влажность, %:		
стеблей	Нет данных	48,0
коробочек	Нет данных	31,3
сорняков	Нет данных	55,6
Полегание стеблестоя, балл	Не ниже 3	3,5–5,0
Зона расположения коробочек в стеблестое, см	Нет данных	13,2
Высота расположения зоны коробочек, см	Нет данных	68,7
Общая длина стебля, см	Нет данных	73,9
Засоренность культуры сорняками, %	Не более 10	3,04
Густота стеблестоя, шт/м ²	Нет данных	1806,0
Диаметр стебля, мм	Нет данных	1,25

Испытания проводились на соответствие машины требованиям ТУ ВУ 300079094.006-2007 на комбайн льноуборочный «Двина-4М», введенных в действие 5.03.2008 г.

Лента льна (рис. 3), получаемая при работе льноуборочного комбайна с роторным бильно-вычесывающим устройством, соответствовала предъявляемым требованиям (растянутость и угол отклонения стеблей в ленте составили не более 1,1 раза и 10,1° соответственно).

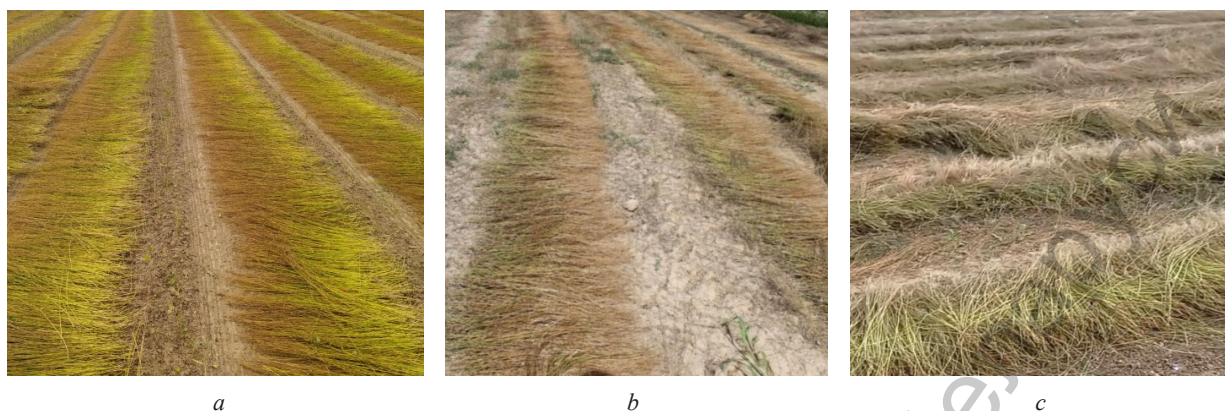


Рис. 3. Ленты льна после обмолота переоборудованным льноуборочным комбайном «Двина-4М(р)»: *a* – в фазу желтой спелости; *b* – в фазу бурой спелости; *c* – полеглий стеблестой

Fig. 3. Linen strips after threshing with a converted “Dvina-4M(r)” flax harvester: *a* – during the phase of yellow ripeness; *b* – during the phase of brown ripeness; *c* – downy stalk

Производительность агрегата напрямую зависит от толщины обрабатываемой ленты льна, поэтому данный фактор нужно учитывать при выборе параметров обмолачивающего устройства. Во время полевых испытаний проводилось изучение влияния толщины обрабатываемой ленты льна при различных зазорах (0,007; 0,009 и 0,011 м) между ротором и декой на качественные показатели процесса обмолота (рис. 4).

Анализ графических зависимостей (рис. 4, *a*) показал, что изменение чистоты обмолота роторным бильно-вычесывающим устройством в зависимости от толщины подаваемой на обмолот ленты льна для трех вариантов зазора между ротором и декой представляет собой выпуклую кривую в виде полинома второго порядка. При зазоре $\Delta = 0,007$ м чистота обмолота во всем диапазоне толщины ленты льна находится в пределах 0,986–0,993, что выше значения, предусмотренного регламентом, – 0,98. Удовлетворительная работа обмолачивающего устройства при зазоре $\Delta = 0,009$ м находится в диапазоне $h_{\text{сл}} = 0,025–0,05$ м, и чистота обмолота составляет 0,98–0,99; при зазоре $\Delta = 0,011$ м в диапазоне $h_{\text{сл}} = 0,034–0,05$ м обеспечивается чистота обмолота 0,98–0,985.

График степени повреждения стеблей (рис. 4, *b*) имеет вид вогнутой кривой с эксцессом в диапазоне $h_{\text{сл}} = 0,02–0,04$ м. Поскольку регламентом по возделыванию льна-долгунца допустимым

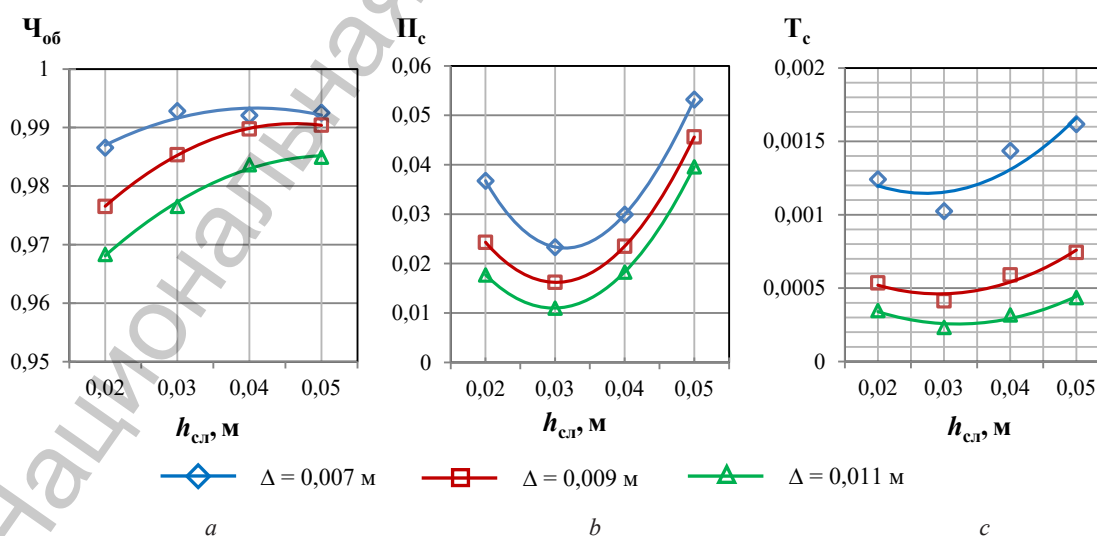


Рис. 4. Графики зависимости чистоты обмолота (*a*), степени повреждения стеблей (*b*) и степени повреждения семян льна (*c*) от толщины ленты льна

Fig. 4. Graphs of dependence on the purity of threshing (*a*), the degree of damage to the stems (*b*) and the degree of damage to flax seeds (*c*) from the thickness of the flax tape

является 3,0 % поврежденных стеблей льна, то при зазоре $\Delta = 0,007$ м этому требованию удовлетворяет работа обмолачивающего устройства в диапазоне $h_{\text{сл}} = 0,025\text{--}0,04$ м, при зазоре $\Delta = 0,009$ м $h_{\text{сл}} = 0,02\text{--}0,042$ м, а при зазоре $\Delta = 0,011$ м превышение степени повреждения стеблей наблюдалось при толщине слоя больше 0,047 м. Таким образом, чем больше зазор между ротором и декой, тем степень повреждения стеблей льна меньше. Для трех вариантов зазоров характерно снижение степени повреждения стеблей льна с увеличением толщины подаваемой на обмолот ленты льна до 0,03 м. Это объясняется тем, что стебли, находящиеся внутри ленты, вследствие своей упругости меньше проминаются. Следует отметить, что повреждения стеблей льна в виде расплющивания характерны для льна в фазе желтой спелости, а для льна в фазе бурой спелости – в виде размочаливания. В процессе исследований количество поврежденных стеблей в виде обрыва больше наблюдалось у льна в желтой стадии спелости. При увеличении толщины ленты больше 0,03 м наблюдается увеличение повреждения стеблей льна, что связано с увеличением сил сжатия и сил, направленных на разрыв стеблей.

Количество и характер поврежденных стеблей льна зависят не только от конструкции обмолачивающего устройства, но и от режима его работы и стадии спелости льна. Также следует отметить, что тонкостебельный лен в меньшей степени подвержен повреждению, чем толкостебельный. Увеличение степени повреждения стеблей льна с уменьшением толщины обрабатываемой ленты объясняется ростом в слое доли стеблей, непосредственно взаимодействующих с рабочими поверхностями роторного бильно-вычесывающего устройства.

Из графической зависимости (рис. 4, с) видно, что с увеличением толщины ленты льна степень повреждения семян льна изменяется по некоторой вогнутой полиномиальной кривой. Наибольшая степень повреждения семян во всем диапазоне исследований наблюдается при установленном зазоре 0,007 м и изменяется от 0,001 при толщине ленты 0,04 м до 0,0016 при толщине ленты 0,02 м. Влияние изменения толщины ленты льна при зазорах 0,009 и 0,011 м на степень повреждения семян несущественно и находится в диапазоне от 0,0002 до 0,0007. Также следует отметить, что степень повреждения семян снижается в диапазоне толщины ленты льна от 0,02 до 0,04 м и возрастает с увеличением толщины ленты от 0,04 м и выше. Последнее объясняется нарастающими силами сжатия внутри слоя стеблей льна, находящихся в молотильном пространстве при увеличении ее толщины.

Влияние влажности и спелости льна на качественные показатели работы устройств для отделения семян от стеблей льна отмечается многими исследователями [13–15]. Наступление желтой спелости у сорта Ласка произошло 29 июля 2021 г. При этом в стеблестое льна содержалось 17 % зеленых, 56 % желтых и 28 % бурых коробочек. С 6 августа отмечено начало фазы полной спелости льна-долгунца. В эти сроки количество бурых коробочек в стеблестое льна достигло 88 %, желтых 11 % и зеленых 1 %.

В процессе созревания льна средняя влажность стеблей и раннеспелого, и позднеспелого сортов мало отличается [16]. При проведении исследований средняя влажность стеблей $W_{\text{сл}}$ и коробочек $W_{\text{лк}}$ уменьшалась по параболическим кривым (рис. 5).

Средняя влажность коробочек льна изменяется более существенно, что особенно заметно в конце желтой и бурой спелости. При проведении эксперимента у сорта Ласка средняя влажность коробочек уменьшилась с 54,5 % в фазе зеленой спелости до 17 % в фазе бурой спелости.

В процессе полевых испытаний исследовались качественные показатели работы обмолачивающего устройства в желтой (рис. 6, а) и бурой (рис. 6, б) фазах спелости льна.

Исследование влияния зазора между ротором и декой на чистоту обмолота и степень повреждения стеблей в фазу желтой спелости льна при различных скоростях вращения ротора (см. рис. 6, а) показали, что увеличение зазора с 0,007 до 0,012 м приводит к снижению чистоты обмолота. Это объясняется уменьшением сил сжатия, действующих на обрабатываемый материал в пространстве между ротором и декой. Вместе с тем такое увеличение зазора приводит к снижению повреждения стеблей, что также связано с уменьшением силового воздействия рабочих органов на обрабатываемый материал в молотильном пространстве. При скорости вращения ротора $\omega_p = 36,6$ рад/с рациональное значение зазора находится в диапазоне 0,0077–0,0097 м; при скорости вращения ротора $\omega_p = 39,7$ рад/с рациональное значение зазора находится в диапазоне

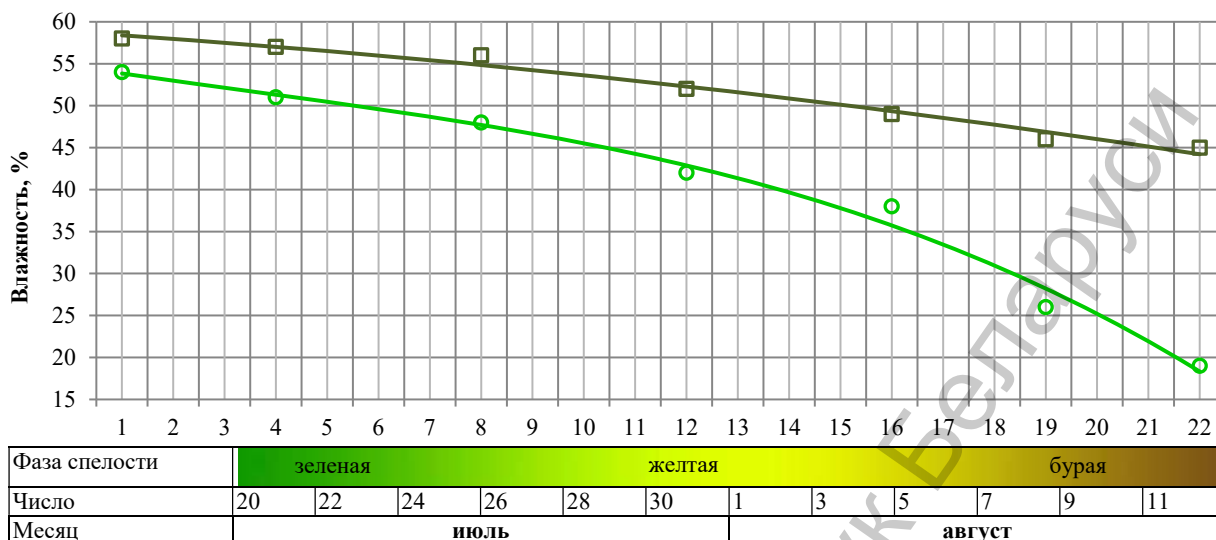


Рис. 5. Зависимость влажности льна от фазы спелости

Fig. 5. Dependence of flax moisture content on the phase of ripeness

0,0087–0,0109 м; при скорости вращения ротора $\omega_p = 42,9$ рад/с рациональное значение зазора находится в диапазоне 0,0098–0,0117 м.

Исследование влияния зазора между ротором и декой на чистоту обмолота и степень повреждения стеблей в фазу бурой спелости льна при различных скоростях вращения ротора (см. рис. 6, *b*) показали, что при скорости вращения ротора $\omega_p = 36,6$ рад/с рациональное значение зазора находится в диапазоне 0,0076–0,0114 м; при скорости вращения ротора $\omega_p = 39,7$ рад/с рациональное значение зазора находится в диапазоне 0,0082–0,012 м; при скорости вращения ротора $\omega_p = 42,9$ рад/с рациональное значение зазора находится в диапазоне 0,0089–0,012 м.

Из чего следует, что спелый лен лучше поддается обмолоту и при скоростях вращения ротора 39,7 и 42,9 рад/с в диапазоне изменения молотильного зазора $\Delta = 0,007$ –0,011 м чистота обмолота

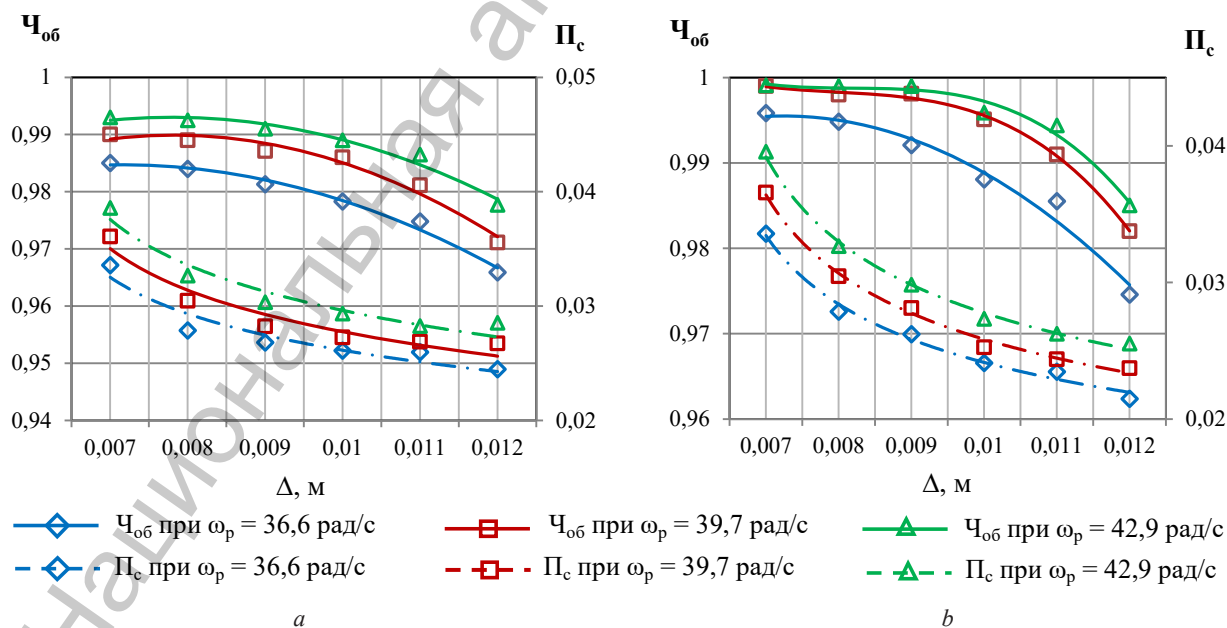


Рис. 6. Зависимости чистоты обмолота и степени повреждения стеблей льна от зазора между ротором и декой в фазе желтой спелости (а) и в фазе бурой спелости льна (b)

Fig. 6. Dependences of the purity of threshing and the degree of damage to flax stalks from the gap between the rotor and the deck in the phase of yellow ripeness (a) and in the phase of brown ripeness of flax (b)

находится в допустимых регламентом значениях. Уменьшение чистоты обмолота ниже 0,98 наблюдается при скорости вращения ротора 36,6 рад/с при зазоре больше 0,0095 м.

Увеличение степени повреждения стеблей льна в фазу бурой спелости в сравнении с фазой желтой спелости объясняется тем, что по мере созревания льна стебли становятся более жесткими, а корковый и древесный слои хрупкими, что при изгибе стебля приводит к заламам.

Изменение скорости вращения ротора оказывает существенное влияние на качественные показатели процесса обмолота. Ее увеличение приводит к росту показателя интенсивности воздействия на обрабатываемый материал. Это, в свою очередь, повышает вероятность непосредственного воздействия рабочих органов на стебли и семенные коробочки льна, что положительно сказывается на чистоте обмолота и отрицательно на степени повреждения стеблей.

На втором этапе исследований были проведены сравнительные испытания льноуборочных комбайнов с серийным гребневым очесывающим устройством и с роторным бильно-вычесывающим устройством. Параметры настройки, условия и результаты агротехнической оценки работы льнокомбайнов приведены в табл. 2.

Таблица 2. Параметры настройки, условия и результаты сравнительных испытаний льноуборочных комбайнов с различными устройствами для отделения семенной части от стеблей
Table 2. Settings, conditions and results of comparative tests of flax harvesters with different devices for separating the seed part from the stalks

Показатель	Значение показателя							
	по ТУ и ТНПА	по результатам испытаний						
		Гребневое очесывающее устройство			Роторное бильно-вычесывающее устройство			
Скорость движения комбайна, км/ч	6–8	6,03	7,14	8,11	6,03	7,14	8,11	9,44
Ширина захвата, м	1,52	1,52			1,52			
Производительность за час основного времени, га	1	0,68	0,81	0,92	0,68	0,81	0,92	1,07
Производительность за час сменного времени, га	–	0,42	0,50	0,57	0,46	0,54	0,62	0,72
<i>Показатели качества выполнения технологического процесса</i>								
Потери семян всего, %	Не более 4	3,56	3,74	4,14	2,33	2,48	2,58	2,88
в том числе:								
под теребильным аппаратом	Нет данных	0,60	0,65	0,66	0,60	0,65	0,66	0,67
вынос с лентой	Нет данных	2,10	2,21	2,60	0,89	0,98	1,05	1,20
от недоочеса	Нет данных	0,86	0,88	0,88	0,84	0,85	0,87	1,01
подсаривание под машиной (потери под лентой и под очесывающим аппаратом)	Нет данных	2,96	3,09	3,48	1,73	1,83	1,92	2,21
Чистота очеса, %	Не менее 98	98,20	98,00	96,40	99,30	98,90	98,70	98,70
Потери стеблей всего, %	Нет данных	2,00	2,15	2,48	0,90	1,00	1,05	1,10
в том числе:								
невыветриваемыми	Нет данных	0,20	0,25	0,28	0,20	0,25	0,28	0,30
в виде отхода стеблей в путанину	Не более 3	1,80	1,90	2,20	0,70	0,75	0,77	0,80
Чистота тербления, %	Не менее 99	99,50	99,40	99,20	99,50	99,40	99,20	99,10
Состав льновороха по массе, %								
семенные коробочки целые и разрушенные	Нет данных	50,70	47,70	45,65	66,50	65,23	63,43	61,45
в том числе семена, из них:								
семена свободные	Нет данных	1,80	1,60	1,60	8,20	8,00	7,60	7,10
в том числе поврежденные и дробленые								
путанина	Нет данных	35,00	38,00	40,00	18,00	19,20	21,00	23,00
сорняки	Нет данных	1,80	1,80	1,87	1,30	1,40	1,35	1,37
прочие примеси	Нет данных	12,50	12,50	12,50	14,20	14,20	14,20	14,20
Характеристика ленты льна								
растянутость ленты, раз	Не более 1,2	1,10	1,18	1,20	1,10	1,18	1,20	1,23

Окончание табл. 2

Показатель	Значение показателя							
	по ТУ и ТНПА	по результатам испытаний						
		Гребневое очесывающее устройство			Роторное бильно-вычесывающее устройство			
Повреждения стеблей, влияющие на выход длинного волокна, %	Нет данных	2,88	2,95	3,17	1,78	1,70	1,90	2,04
в том числе:								
открытый излом стебля с разрывом волокна	Нет данных	1,98	1,86	2,02	1,18	1,09	1,25	1,37
обрыв технической длины	Нет данных	0,90	1,09	1,15	0,60	0,61	0,65	0,67

Как видно из табл. 2, все показатели работы льноуборочного комбайна с роторным бильно-вычесывающим устройством соответствуют требованиям ТУ ВУ 300079094.006-2007 на льнокомбайн «Двина-4М», а по некоторым показателям превосходят серийное гребневое очесывающее устройство.

По результатам агротехнической оценки чистота обмолота переоборудованного льноуборочного комбайна составила в среднем для трех режимов работы 98,97 %, что отвечает требованиям ТУ ВУ 300079094.006-2007 и отраслевому регламенту возделывания льна¹. Этот показатель получен при работе машины на средней скорости 7,68 км/ч и скорости вращения ротора 43 рад/с. При этом повреждения стеблей, влияющие на выход длинного волокна, составили 1,82 %, общие потери семян – 2,5 %, а потери от недоочеса – 0,89 %. Практически все потери семян происходили из-за подсаривания под машиной, сюда включены потери под лентой и под очесывающим аппаратом. Такие большие потери семян объясняются состоянием стеблестоя и недостаточной шириной вычесывающе-транспортирующей щетки для имеющейся камеры очеса. Испытания льнокомбайна происходили в желтой и бурой стадиях спелости льна. Из-за растрескивания пересушенных семенных коробочек имелись потери семян от осыпания [17].

Оборудованный роторным бильно-вычесывающим устройством льноуборочный комбайн «Двина-4М(р)» обеспечивал получение однородного вороха с низким содержанием путанины. Исследования характеристик льняного вороха показали, что плотность семенного вороха на 9 % больше, чем у вороха, полученного при работе комбайна «Двина-4М». В льноворохе, полученном при уборке комбайном «Двина-4М», содержится 52–84 % семенных коробочек различной спелости и влажности, 2–9 % свободных семян и 12–45 % путанины, мякины и сорняков. Семян в ворохе – 35–50 % от общей массы вороха. В семенном ворохе льна, полученном при уборке комбайном «Двина-4М(р)», содержится 55–87 % семенных коробочек различной спелости и влажности, 11–16 % свободных семян и 4–23 % путанины, мякины и сорняков. Удельный вес семян в ворохе составляет 41–67 %. Длина обрывков стеблей льна при очесе гребневым аппаратом варьирует в пределах 20–170 мм. Удельный вес обрывков длиной 50–110 мм составляет 48 %, 110–150 мм – 32 %. Длина обрывков стеблей льна при уборке комбайном «Двина-4М(р)» варьирует в пределах 10–150 мм. При этом наибольшее их процентное содержание (52 %) приходится на обрывки длиной 30–90 мм, на обрывки длиной 90–120 мм – 27 %.

Применение роторного бильно-вычесывающего устройства в сравнении с серийно выпускаемым гребневым очесывающим аппаратом позволяет уменьшить процентное содержание путанины в структуре компонента льняного вороха в среднем на 56,5 %, а общий объем льновороха снизить на 28,5–56,3 %. Плотность вороха, получаемого при уборке роторным бильно-вычесывающим аппаратом, увеличивается со 140 до 152,8 кг/м³ [17].

При определении экономической эффективности применения новой техники основным критерием является годовой приведенный экономический эффект^{2,3} [18, 19].

¹ Возделывание и уборка льна-долгунца: типовые технологические процессы: отраслевой регламент. Минск: Ин-т систем. исслед. в АПК НАН Беларуси, 2019. 12 с.

² Новиков А. И. Эконометрика: учеб. пособие для вузов. 2-е изд. М: ИНФРА-М, 2007. 144 с.

³ Методика экономической оценки сельскохозяйственной техники: учеб. пособие для вузов / Н. С. Власов [и др.]; под общ. ред. Н. С. Власова. М., 1979. 399 с.

Для расчетов использовались данные сравнительных испытаний (см. табл. 2). Расчет эффекта от применения роторного бильно-вычесывающего устройства выполняли в совокупности взаимозависимых операций:

базовый вариант (I) – тербление льна с очесом и последующим расстилом в ленту МТА «Беларус-820» + «Двина-4М» + 2ПТС-4 (с серийным гребневым очесывающим устройством), двойной обмолот вороха зерноуборочным комбайном КЗС-1218 + ПЗ-3,4 и транспортировка семян на льнозавод – «Беларус-920» + 2ПТС-4 15 км с последующей сушкой СКУ-10, а также очисткой и сортировкой семян ПЛ-500;

предлагаемый вариант (II) – «Беларус-820» + «Двина-4М(р)» + 2ПТС-4 (с роторным бильно-вычесывающим устройством), двойной обмолот вороха зерноуборочным комбайном КЗС-1218 + ПЗ-3,4 и транспортировка семян на льнозавод – «Беларус-920» + 2ПТС-4 15 км с последующей сушкой СКУ-10, а также очисткой и сортировкой семян ПЛ-500.

Расчет проводился по ценам льнотресты, льносемян, энергоносителей, сложившимся на рынке по состоянию на 2023 г. В расчетах цена семян принята 1235,31 руб/т. Урожай 2022 г. обеспечил льнозаводы трестой средним номером 0,98. Стоимость тресты определена по цене тресты № 1 в сумме 836,37 руб/т. Площадь убираемой культуры (50 га) принимали исходя из средней сезонной наработки льноуборочного комбайна. Урожайность льнотресты (3,17 т/га) и урожайность льносемян (0,45 т/га) взята исходя из средних показателей по республике.

В основе методики расчета экономической эффективности проекта лежит сравнение выручки от реализации дополнительной продукции (семена, треста) и затрат по модернизации и первичной переработки дополнительной продукции. Результаты расчета технологической эффективности и экономического эффекта применения разработанного устройства представлены в табл. 3.

Таблица 3. Техничко-экономические показатели применения роторного бильно-вычесывающего устройства

Table 3. Technical and economic indicators of the use of a rotary beater-combing device

Показатель	Базовый вариант (I)	Предлагаемый вариант (II)
Среднегодовая наработка льноуборочного комбайна, га	50,00	50,00
Тарифный фонд	201,26	189,10
Расход топлива,	6179,00	4612,00
Валовый сбор урожая, т/га		
льнотресты	3,07	3,11
семян льна	0,43	0,44
Затраты труда, чел.-ч	344,42	324,09
Эксплуатационные затраты, руб.	26 299,80	20 937,64
Производительность труда, га/чел.-ч	0,15	0,15
Трудоемкость, чел.-ч/га	6,89	6,48
Рост производительности труда, %	–	6,27
Уровень снижения трудоемкости, %	–	5,90
Удельные эксплуатационные затраты, руб/га	526,00	418,75
Дополнительная выручка на 1 га посевов льна-долгунца за счет увеличения выхода и роста качества продукции, руб/га	–	37,28
Годовая экономия, руб.	–	5362,16
Приведенные затраты, руб.	30 746,20	24 779,19
Удельные приведенные затраты, руб/га	614,92	495,58
Годовой экономический эффект, руб.	–	7831,15
Годовой экономический эффект с 1 га посевов льна, руб/га	–	156,62

Расчеты, приведенные в табл. 3, показали, что годовой экономический эффект от применения роторного бильно-вычесывающего устройства в условиях опыта составит 7831 руб. Его размер в расчете на 1 га посевов равен 156,6 руб. в ценах I квартала 2023 г. Также следует отметить снижение трудовых и эксплуатационных затрат – на 5,9 и 20,4 % соответственно.

Выводы. Производственные испытания позволили определить рациональные значения параметров роторного бильно-вычесывающего устройства при обмолоте лент льна. Получены закономерности изменения чистоты обмолота, степени повреждения семян и стеблей от толщины ленты стеблей льна, обмолачиваемой роторным бильно-вычесывающим устройством, установленным в льноуборочный комбайн «Двина-4М», а также закономерности изменения чистоты обмолота и степени повреждения стеблей льна от зазора между ротором и декой в фазе желтой и бурой спелости льна при различных скоростях вращения ротора.

По результатам сравнительных испытаний льнокомбайна с роторным бильно-вычесывающим устройством в сравнении с серийным льноуборочным комбайном «Двина-4М» получены следующие результаты: увеличение производительности переоборудованного льнокомбайна на 8,7 %; снижение общих потерь семян с 3,81 до 2,57 %, снижение потерь от недоочеса – на 4,2–7,32 %; снижение повреждения стеблей льна, влияющего на выход длинного льноволокна, с 3,0 до 1,86 % (на 38,01 %); уменьшение процентного содержания путанины в структуре компонента льняного вороха в среднем на 56,5 %, а общего объема льновороха – на 28,5–56,3 %. Плотность вороха, получаемого при уборке роторным бильно-вычесывающим аппаратом, увеличивается на 9 % (со 140 до 152,8 кг/м³).

Годовой экономический эффект применения роторного бильно-вычесывающего устройства составит 7831 рубль. В расчете на 1 га сумма экономического эффекта равна 156,6 руб. в ценах I квартала 2023 г.

Список использованных источников

1. Анализ механизированных технологий уборки и первичной переработки льна / В. А. Шаршунов [и др.] // Вестн. Белорус. гос. с.-х. акад. – 2017. – № 2. – С. 137–141.
2. Основы расчета рабочих органов машин и оборудования для производства семян льна / В. А. Шаршунов [и др.]. – Горки: БГСХА, 2016. – 156 с.
3. Research on new technology of fiber flax harvesting / J. Mańkowski [et al.] // J. Nat. Fibers. – 2018. – Vol. 15, № 1. – P. 53–61. <https://doi.org/10.1080/15440478.2017.1302390>
4. Dudarev, I. A review of fibre flax harvesting: conditions, technologies, processes and machines / I. Dudarev // J. Nat. Fibers. – 2020. – Vol. 19, № 12. – P. 4496–4508. <https://doi.org/10.1080/15440478.2020.1863296>
5. Шаршунов, В. А. Анализ обеспеченности льносеющих хозяйств Республики Беларусь техническими средствами для уборки льна-долгунца / В. А. Шаршунов, В. А. Кожановский, М. В. Цайц // Вестн. Белорус. гос. с.-х. акад. – 2022. – № 4. – С. 150–156.
6. Технические средства для уборки льна-долгунца в разрезе перспектив развития льноводческой отрасли / В. В. Азаренко [и др.] // Вестн. Белорус. гос. с.-х. акад. – 2022. – № 3. – С. 136–139.
7. Ключков, А. В. Осенние работы на полях Беларуси / А. В. Ключков // Наше сел. хоз-во. – 2020. – № 19 (243). – С. 80–86.
8. Казакевич, П. П. Техничко-технологические основы повышения качества льняной тресты / П. П. Казакевич // Вес. Нац. акад. навук Беларусі. Сер. аграр. навук. – 2011. – № 1. – С. 89–93.
9. Ростовцев, Р. А. Повышение качества очеса стеблей льна путем совершенствования технологии и оптимизации параметров и режимов работы очесывающего аппарата: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.20.01 / Р. А. Ростовцев. – СПб.; Павловск, 2003. – 19 с.
10. Татарнищев, К. В. Повышение эффективности технологии уборки льна-долгунца путем оптимизации параметров и режимов работы очесывающего аппарата: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.20.01 / К. В. Татарнищев. – Тверь; СПб., 2008. – 21 с.
11. Вакарчук, С. Анализ очесывающих аппаратов для отделения семян от стеблей льна / С. Вакарчук // Актуальные вопросы развития науки и технологий: сб. ст. междунар. науч.-практ. конф. молодых ученых, Караваево, 1–31 марта 2017 г. / Костром. гос. с.-х. акад. – Караваево, 2017. – С. 71–75.
12. Анализ устройств для отделения семян льна от стеблей / В. А. Шаршунов [и др.] // Вестн. Белорус. гос. с.-х. акад. – 2017. – № 4. – С. 174–180.
13. Еругин, А. Ф. Обоснование процессов, средств вымолота и очистки семян льна в селекции и семеноводстве: автореф. дис. ... д-ра техн. наук: 05.20.01 / А. Ф. Еругин. – М., 1991. – 39 с.
14. Комаров, В. В. Повышение эффективности процесса отделения семян от стеблей льна путем применения вальцово-гребневого аппарата: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.20.01 / В. В. Комаров; Костром. гос. с.-х. акад. – Кострома, 2005. – 23 с.
15. Порфирьев, С. Г. Закономерность созревания льна-долгунца и сроки его уборки / С. Г. Порфирьев, В. Г. Игнатов // Повышение производительности и качества работы сельскохозяйственных машин в условиях Нечерноземной зоны РСФСР: тр. ВСХИЗО / Всесоюз. с.-х. ин-т заоч. образования. – М., 1986. – С. 76–83.
16. Ковалев, М. М. Технологии и машины для комбинированной уборки льна-долгунца: автореф. дис. ... д-ра техн. наук: 05.20.01 / М. М. Ковалев. – М., 2010. – 42 с.

17. Цайц, М. В. Роторное бильно-вычесывающее устройства для отделения семян от стеблей льна / М. В. Цайц // Инновационные технологии в агропромышленном комплексе – сегодня и завтра: сб. науч. ст. 6-й междунар. науч.-практ. конф., 2 нояб. 2022 г., Гомель, Респ. Беларусь / М-во пром-сти Респ. Беларусь [и др.]. – Гомель, 2022. – С. 227–232.
18. Методика определения экономической эффективности использования в сельском хозяйстве результатов научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ, новой техники, изобретений и рационализаторских предложений / Гос. агропром. ком. УССР. – Киев: Урожай, 1986. – 118 с.
19. Экономическая эффективность механизации сельскохозяйственного производства / А. В. Шпилько [и др.]. – М.: [б. и.], 2001. – 345 с.

References

1. Sharshunov V. A., Alekseenko A. S., Tsaits M. V., Levchuk V. A. Analysis of mechanized technologies of harvesting and primary processing of flax. *Vestnik Belorusskoi gosudarstvennoi sel'skokhozyaistvennoi akademii = Bulletin of the Belarussian State Agricultural Academy*, 2017, no. 2, pp. 137–141 (in Russian).
2. Sharshunov V. A., Kruglenya V. E., Kudryavtsev A. N., Alekseenko A. S., Tsaits M. V., Levchuk V. A., Akulich M. P. *Basics of calculating the working bodies of machines and equipment for the production of flax seeds*. Gorki, Belarussian State Agricultural Academy, 2016. 156 p. (in Russian).
3. Mańkowski J., Maksymiuk W., Spuchalski G., Kołodziej J., Kubacki A., Kupka D., Pudełko K. Research on new technology of fiber flax harvesting. *Journal of Natural Fibers*, 2018, vol. 15, no. 1, pp. 53–61. <https://doi.org/10.1080/15440478.2017.1302390>
4. Dudarev I. A review of fibre flax harvesting: conditions, technologies, processes and machines. *Journal of Natural Fibers*, 2022, vol. 19, no. 12, pp. 4496–4508. <https://doi.org/10.1080/15440478.2020.1863296>
5. Sharshunov V. A., Kozhanovskii V. A., Tsaits M. V. Analysis of provision of flax-sowing farms of the Republic of Belarus with technical means for long-fiber flax harvesting. *Vestnik Belorusskoi gosudarstvennoi sel'skokhozyaistvennoi akademii = Bulletin of the Belarussian State Agricultural Academy*, 2022, no. 4, pp. 150–156 (in Russian).
6. Azarenko V. V., Astakhov V. S., Kurzenkov S. V., Gordeenko O. V. Technical means of harvesting long-fiber flax in terms of flax branch development pros. *Vestnik Belorusskoi gosudarstvennoi sel'skokhozyaistvennoi akademii = Bulletin of the Belarussian State Agricultural Academy*, 2022, no. 3, pp. 136–139 (in Russian).
7. Klochkov A. V. Autumn work in the fields of Belarus. *Nashe sel'skoe khozyaistvo [Our Agriculture]*, 2020, no. 19 (243), pp. 80–86 (in Russian).
8. Kazakevich P. P. Technical and technological bases for increasing the quality of flax. *Vestsi Natsyyanal'nai akademii navuk Belarusi. Seryya agrarnykh navuk = Proceedings of the National Academy of Sciences of Belarus. Agrarian series*, 2011, no. 1, pp. 89–93 (in Russian).
9. Rostovtsev R. A. *Improving the quality of flax stalks tow by improving technology and optimizing the parameters and operating modes of the stripper*. St. Petersburg, Pavlovsk, 2003. 19 p. (in Russian).
10. Tatarnitsev K. V. *Improving the efficiency of fiber flax harvesting technology by optimizing the parameters and operating modes of the combing apparatus*. Tver, St. Petersburg, 2008. 21 p. (in Russian).
11. Vakarchuk S. Analysis of strippers for separating seeds from flax stalks. *Aktual'nye voprosy razvitiya nauki i tekhnologii: sbornik statei mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii molodykh uchennykh, Karavaevo, 1–31 marta 2017 g.* [Topical issues in the development of science and technology: collection of articles of the international scientific and practical conference of young scientists, Karavaevo, March 1–31, 2017]. Karavaevo, 2017, pp. 71–75 (in Russian).
12. Sharshunov V. A., Alekseenko A. S., Tsaits M. V., Levchuk V. A. Analysis of devices for the separation of flax seeds from stems. *Vestnik Belorusskoi gosudarstvennoi sel'skokhozyaistvennoi akademii = Bulletin of the Belarussian State Agricultural Academy*, 2017, no. 4, pp. 174–180 (in Russian).
13. Erugin A. F. *Substantiation of processes, means of threshing and cleaning of flax seeds in breeding and seed production*. Moscow, 1991. 39 p. (in Russian).
14. Komarov V. V. *Improving the efficiency of the process of separating seeds from flax stems by using a roller-comb apparatus*. Kostroma, 2005. 23 p. (in Russian).
15. Porfir'ev S. G. The pattern of maturation of fiber flax and the timing of its harvesting. *Povyshenie proizvoditel'nosti i kachestva raboty sel'skokhozyaistvennykh mashin v usloviyakh Nechernozemnoi zony RSFSR: trudy VSKHIZO* [Improving the productivity and quality of agricultural machines in the non-chernozem zone of the RSFSR: proceedings of the All-Union Agricultural Institute of Correspondence Education]. Moscow, 1986, pp. 76–83 (in Russian).
16. Kovalev M. M. *Technologies and machines for combined harvesting of fiber flax*. Moscow, 2010. 42 p. (in Russian).
17. Tsaits M. V. Rotary beater-combing device for separating seeds from flax stalks. *Innovatsionnye tekhnologii v agropromyshlennom komplekse – segodnya i zavtra: sbornik nauchnykh statei 6-i mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii, 2 noyabrya 2022 g., Gomel', Respublika Belarus'* [Innovative technologies in the agro-industrial complex – today and tomorrow: collection of scientific articles of the 6th international scientific and practical conference, November 2, 2022, Gomel, Republic of Belarus]. Gomel, 2022, pp. 227–232 (in Russian).
18. State Agro-Industrial Committee of the Ukrainian SSR. *Methods for determining the economic efficiency of using in agriculture the results of research and development work, new technology, inventions and rationalization proposals*. Kyiv, Urozhai Publ., 1986. 118 p. (in Russian).
19. Shpil'ko A. V., Dragaitsev V. I., Morozov N. M., Kabanov P. N., Mindrin A. S., Tsoi L. M. *Economic efficiency of mechanization of agricultural production*. Moscow, 2001. 345 p. (in Russian).

Информация об авторах

Шариунов Вячеслав Алексеевич – член-корреспондент Национальной академии наук Беларуси, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры техносферной безопасности и общей физики, Белорусский государственный университет пищевых и химических технологий (пр-т Шмидта, 3, 212027, Могилев, Республика Беларусь). E-mail: mail@bgut.by

Босак Виктор Николаевич – доктор сельскохозяйственных наук, профессор, заведующий кафедрой безопасности жизнедеятельности, Белорусская государственная сельскохозяйственная академия (ул. Мичурина, 5, 213407, Горки, Республика Беларусь). <http://orcid.org/0000-0001-7197-2315>. E-mail: bosak1@tut.by

Цайц Максим Валерьевич – старший преподаватель кафедры безопасности жизнедеятельности, Белорусская государственная сельскохозяйственная академия (ул. Мичурина, 5, 213407, Горки, Республика Беларусь). <http://orcid.org/0000-0003-0890-9908>. E-mail: baa_bgd@mail.ru

Коцуба Виктор Иосифович – кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой технического сервиса, Белорусская государственная сельскохозяйственная академия (ул. Мичурина, 5, 213407, Горки, Республика Беларусь). <http://orcid.org/0000-0001-7858-1237>. E-mail: kozuba1975@mail.ru

Хроменкова Татьяна Леонидовна – кандидат экономических наук, доцент, заведующий кафедрой организации производства в АПК, Белорусская государственная сельскохозяйственная академия (ул. Мичурина, 5, 213407, Горки, Республика Беларусь). E-mail: 79604-1@mail.ru

Левчук Виталий Анатольевич – старший преподаватель кафедры технического сервиса, Белорусская государственная сельскохозяйственная академия (ул. Мичурина, 5, 213407, Горки, Республика Беларусь). E-mail: baa_bgd@mail.ru

Information about the authors

Vyacheslav A. Sharshunov – Corresponding Member of the National Academy of Sciences of Belarus, D. Sc (Engineering), Professor, Professor of the Department of Technosphere Safety and General Physics, Belarusian State University of Food and Chemical Technologies (3, Shmidta Ave., 212027, Mogilev, Republic of Belarus). E-mail: mail@bgut.by

Viktor N. Bosak – D. Sc. (Agriculture), Professor, Head of the Department of Occupational Safety, Belarusian State Agricultural Academy (5, Michurina Str., 213407, Gorki, Mogilev Region, Republic of Belarus). <http://orcid.org/0000-0001-7197-2315>. E-mail: bosak1@tut.by

Maksim V. Cajc – Senior Lecturer of the Department of Occupational Safety, Belarusian State Agricultural Academy (5, Michurina Str., 213407, Gorki, Mogilev Region, Republic of Belarus). <http://orcid.org/0000-0003-0890-9908>. E-mail: baa_bgd@mail.ru

Viktor I. Kocuba – Ph. D. (Engineering), Associate Professor, Head of the Department of Technical Service, Belarusian State Agricultural Academy (5, Michurina Str., 213407, Gorki, Mogilev Region, Republic of Belarus). <http://orcid.org/0000-0001-7858-1237>. E-mail: kozuba1975@mail.ru

Tatsiana L. Khromenkova – Ph. D. (Economics), Associate Professor, Head of the Department of Production Organization in Agro-industrial Complex, Belarusian State Agricultural Academy (5, Michurina Str., 213407, Gorki, Mogilev Region, Republic of Belarus). E-mail: 79604-1@mail.ru

Vitalij A. Levchuk – Senior Lecturer of the Department of Technical Service, Belarusian State Agricultural Academy (5, Michurina Str., 213407, Gorki, Mogilev Region, Republic of Belarus). E-mail: baa_bgd@mail.ru