

ПОИСКОВЫЕ ЭКСПЕРИМЕНТЫ ПРОЦЕССА ОБМОЛОТА ЛЕНТ ЛЬНА УСТРОЙСТВОМ С ЭЛАСТИЧНЫМ РАБОЧИМ ОРГАНОМ В ЛИНИИ ПЕРВИЧНОЙ ПЕРЕРАБОТКИ

В. А. ШАРШУНОВ, В. А. ЛЕВЧУК, М. В. ЦАЙЦ

УО «Белорусская государственная сельскохозяйственная академия»,
г. Горки, Республика Беларусь, 213407, e-mail: baa_bgd@tut.by

(Поступила в редакцию 14.01.2022)

В осваиваемой в Республике Беларусь западноевропейской технология уборки и первичной переработки льна осуществляется обмолот (очес) коробочек в линиях первичной переработки Van Dommele или Depoortere. Процесс очеса в данных линиях первичной переработки осуществляется гребневым очесывающим устройством, главным и серьезным недостатком которого являются повышенные повреждения и отход стеблей в путанину, что снижает качество получаемого волокна. С целью решения этой проблемы в УО БГСХА разработано обмолачивающее устройство с эластичным рабочим органом.

В статье представлены результаты экспериментальных исследований по выявлению основных факторов изучаемого процесса обмолота лент льна устройством с эластичным рабочим органом и обоснования их границ варьирования. По результатам проведенных поисковых экспериментов установлено, что наиболее рационально применять рабочий орган с зубчатой рабочей поверхностью. Он обеспечивает наиболее полный обмолот ленты льна по сравнению с рабочими органами с рифленой параболической поверхностью и гладкой поверхностью. Это объясняется тем, что наличие клиновидных зубьев обеспечивает их проникновение в нижние слои и уплотнение ленты льна. Анализ данных проведенных поисковых экспериментов обмолачивающего устройства с эластичным рабочим органом и построенные на их основе графики позволили определить рациональные интервалы варьирования факторов при обмолоте ленты льна, исходя из обеспечения высокой степени обмолота, низкой степени травмирования семян, низкой степени повреждения стеблей и их отхода в путанину: частота вращения рабочего органа – 2,7...3,2 об/с; скорость подачи ленты льна – 1,2...1,6 м/с; зазор между рабочим органом и сепарирующей решеткой (декой) – 0,01...0,015 м; угол установки рабочего органа относительно плоскости зажимного транспортера – 0,85...1,10 рад; толщина слоя ленты льна – 0,01...0,03 м; смещение ленты льна относительно обмолачивающего устройства от -0,02 до +0,03 м. При этом было получено максимальное значение степени обмолота, равное 0,989.

Ключевые слова: лен, обмолачивающее устройство, коробочки льна, семена льна, обмолот, очес, лента льна, линия первичной переработки льна, эластичный рабочий орган.

In the Western European technology of harvesting and primary processing of flax, which is being mastered in the Republic of Belarus, bolls are threshed (towed) in the Van Dommele or Depoortere primary processing lines. The combing process in these primary processing lines is carried out by a ridge combing device, the main and serious disadvantage of which is increased damage and waste of the stems into tangles, which reduces the quality of the resulting fiber. In order to solve this problem, a threshing device with an elastic working body has been developed at Belarusian State Agricultural Academy.

The article presents results of experimental studies to identify the main factors of the studied process of flax strip threshing by a device with an elastic working body and substantiate their variation limits. Based on the results of the research experiments, it was found that it is most rational to use a working body with a toothed working surface. It provides the most complete threshing of the flax tape in comparison with working bodies with a corrugated parabolic surface and a smooth surface. This is explained by the fact that the presence of wedge-shaped teeth ensures their penetration into the lower layers and compaction of the flax tape. An analysis of the data of the conducted experiments of a threshing device with an elastic working body and the graphs built on their basis made it possible to determine the rational intervals for varying factors when threshing a flax tape, based on ensuring a high degree of threshing, a low degree of seed injury, a low degree of damage to the stems and their waste into a tangle: frequency of rotation of the working body – 2.7 ... 3.2 rev / s; flax tape feed speed – 1.2 ... 1.6 m / s; gap between the working body and the separating grating (deck) – 0.01 ... 0.015 m; installation angle of the working body relative to the plane of the clamping conveyor – 0.85 ... 1.10 rad; flax tape layer thickness – 0.01 ... 0.03 m; the displacement of the flax tape relative to the threshing device is from -0.02 to +0.03 m. In this case, the maximum value of the degree of threshing was obtained, equal to 0.989.

Key words: flax, threshing device, flax bolls, flax seeds, threshing, tow, flax strip, flax primary processing line, elastic working body.

Введение

В целях сокращения сроков уборки льна, а соответственно и потерь качественной тресты и семенного материала в Беларуси практикуется использование различных технологий уборки и первичной переработки льна-долгунца.

В Беларуси по опыту европейских стран внедряются раздельная технология уборки и технология заводского обмолота. Их внедрение позволяет начать уборочный период на 12 дней раньше, снизить энергозатраты за счет сокращения технологических операций проводимых в поле (очес коробочек, обмолот вороха и транспортировка) [1].

Основополагающим технологическим процессом получения семян является процесс отделения семенной части урожая льна-долгунца от стеблей. От уровня его совершенства, зависит величина

урожая, размер потерь, качество льнопродукции, трудоемкость и энергоемкость сушки и обработки льновороха.

По заводской технологии уборки и первичной переработки льна-долгунца обмолот (очес) коробочек осуществляется в линиях первичной переработки льна Van Dommele или Depoortere. В данных линиях используются очесывающие аппараты колебательного типа с одним гребневым рабочим органом. Работа устройства на льняной тресте получаемой отечественными льнозаводами сопровождается: повреждением стеблей; отходом стеблей в путанину (до 8 %); высокой повреждаемостью семян; намотками на рабочий орган. Это вызвано несовершенством очесывающего аппарата и дефектами ленты льна поступающей на очес (относительный перекокс стеблей в ленте, растянутость и скрутки) [2, 3].

С целью устранения выявленных недостатков серийного очесывающего устройства нами предложена конструкция устройства, сочетающая комбинированное очесывающее-плющильное воздействие эластичного рабочего органа (бича) при взаимодействии с верхушечной частью ленты льна находящейся в рабочем (молотильном) зазоре (между сепарирующей решеткой и эластичным зубчатым бичом) [4, 5, 6].

Основная часть

Для выявления основных факторов изучаемого процесса и обоснования их границ варьирования, была разработана и изготовлена специальная лабораторная установка (рис. 1).

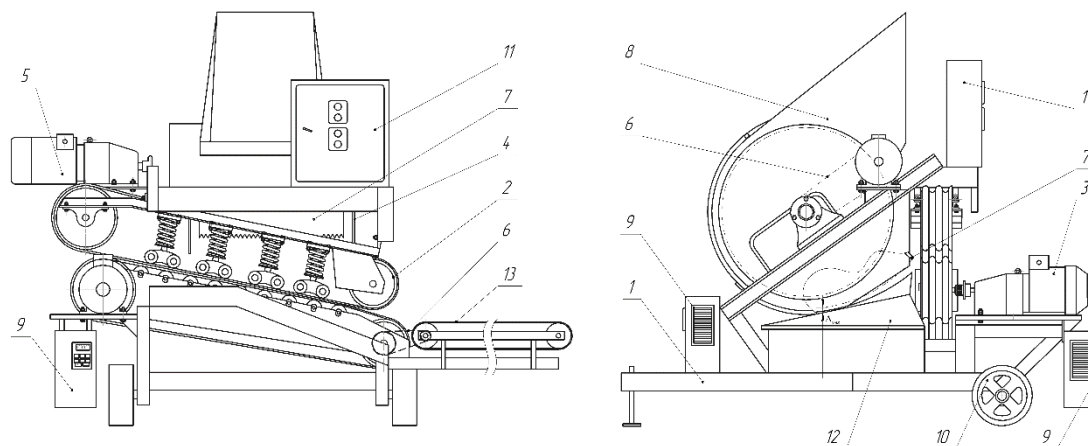


Рис. 1. Схема лабораторной установки:

1 – рама; 2 – зажимной транспортер; 3, 5 – мотор-редуктор; 4 – барабан; 6 – цепная передача; 7 – эластичный рабочий орган; 8 – камера обмолота; 9 – преобразователь частоты; 10 – колеса; 11 – шкаф управления; 12 – сепарирующая решетка (дека); 13 – подающий транспортер

Лабораторная установка состоит из рамы 1, на которой установлен зажимной транспортер 2, привод которого осуществляется от мотор-редуктора 3 мощностью 2,2 кВт с оборотами выходного вала 125 об/мин. На раме 1 также установлен обмолачивающий барабан 4. Привод барабана состоит из мотор-редуктора с оборотами выходного вала 315 об/мин, мощностью 4 кВт и цепной передачи 6 с передаточным числом 1,5. Оба привода включаются при помощи шкафа управления 11 и снабжены индивидуальными преобразователями частоты вращения, позволяющими бесступенчато изменять контролируемые параметры: частоту вращения рабочего органа и скорость подачи ленты льна.

Барабан 4 оснащен эластичным рабочим органом (бичом) 7, установленным под острым углом относительно плоскости зажимного транспортера 2. Барабан 4 с эластичным рабочим органом 7 помещены в камеру обмолота 8. Под барабаном, в зоне обмолота, установлена сепарирующая решетка (дека) 12, форма которой повторяет траекторию движения рабочего органа и имеет регулировки по высоте. Для подачи ленты льна, лабораторная установка обеспечена подающим транспортером 13, привод которого осуществляется от зажимного транспортера посредством цепной передачи, что обеспечивает одинаковую скорость ленты подающего 13 и зажимного 2 транспортера. Для перемещения экспериментальной установки предусмотрены колеса 10 [7].

В качестве материала рабочего органа 7 был выбран полиуретан, изготовленный на основе импортного материала Адипрен 167. Благодаря своим особым эксплуатационным свойствам, полиуретан широко используется в качестве замены резины различных марок и обладает свойствами, которые недостижимы для обычных резин: эластичность (относительное удлинение при разрыве – 500...600 %); низкая истираемость (истираемость – 11,3...26,6 м³/МДж, условная износостойкость в

3 раза выше чем у резины); высокая прочность (условная прочность при растяжении 35 МПа); высокое сопротивление раздиру и многократным деформациям (сопротивление раздиру не менее 50 кН/м); повышенная твердость (до 98 единиц Шора) [8, 9].

Для определения эффективного профиля рабочей поверхности эластичного рабочего органа были изготовлены три образца: с гладкой рабочей поверхностью; с рифленой параболической поверхностью; с зубчатой поверхностью рабочие органы (рис. 2), которые в дальнейшем подвергались лабораторным исследованиям.

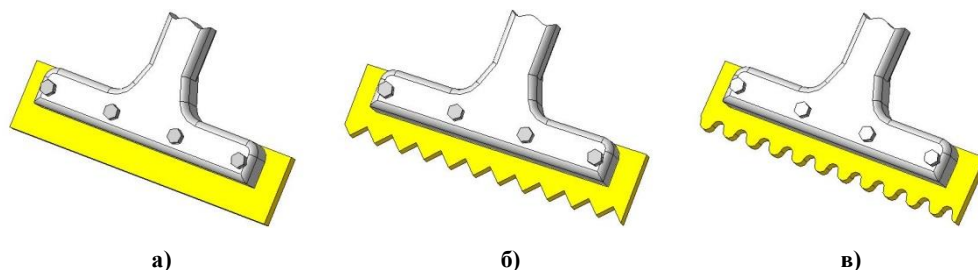


Рис. 2. Виды рабочих поверхностей исследуемых рабочих органов:

а) с гладкой рабочей поверхностью; б) с рифленой параболической поверхностью; в) с зубчатой поверхностью

Конструкция лабораторной установки позволяет в необходимых пределах изменять следующие параметры: частоту вращения рабочего органа, n , об/с; угол установки рабочего органа относительно плоскости зажимного транспортера, α_6 , рад; смещение подаваемой на обмолот ленты льна относительно обмолачивающего устройства, $L_{л}$, м; толщину слоя подаваемой на обмолот ленты льна, $h_{л}$, м; скорость подаваемой на обмолот ленты льна, $v_{л}$, м/с; зазор между рабочим органом и сепарирующей решеткой (декой) Δ , м. В качестве результирующего параметра была принята степень обмолота, E [7].

На предварительных этапах экспериментов были выбраны опорные точки: $n = 2,5$ об/с; $\alpha_6 = 0,87$ рад (50°); $L_{л} = 0$ м; $h_{л} = 0,3$ м; $v_{л} = 1,5$ м/с; $\Delta = 0,015$ м. Схема поисковых исследований подразумевала поэтапное варьирование одного из факторов при фиксированных параметрах остальных на уровнях опорных точек. При выборе рационального интервала изменения факторов руководствовались тем, что минимальное значение степени обмолота должна быть в пределах 0,9.

Скорость подачи ленты льна оказывает значительное влияние на процесс обмолота. С увеличением скорости подачи ленты льна снижается число воздействий рабочего органа на ленту льна, что вызывает снижение степени обмолота. Изменение скорости подачи ленты льна изменялась в пределах от 1,2–2,0 м/с с интервалом варьирования 0,2 м/с (рис. 3, а). Анализируя полученные данные, следует отметить, что при увеличении скорости подачи до 1,6 м/с наблюдается незначительное снижение показателя функции отклика. Это обусловлено уменьшением времени воздействия рабочего органа на один участок ленты льна. С дальнейшим увеличением скорости подачи ленты льна происходит увеличение потерь семян от недомолота. Существенное снижение показателя степени обмолота, связано с тем, что средняя часть ленты подвергается лишь незначительному воздействию со стороны рабочего органа из-за быстрого прохождения зоны обмолота лентой льна.

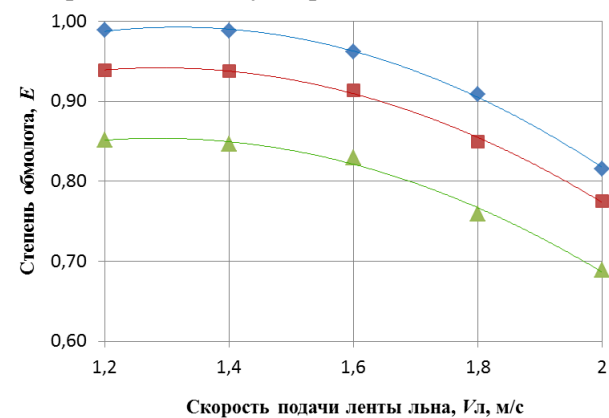
Смещение ленты льна относительно обмолачивающего устройства варьировалось в пределах от -0,1 до +0,1 м с интервалом варьирования равным 0,05 м. Анализируя результаты, можно сделать вывод, что смещение ленты льна оказывает значительное влияние на степень обмолота. Как видно из графика (рис. 3, б), наименьшее значение степени обмолота наблюдается при смещении ленты льна на -0,1 м в сторону зажимного транспортера, что объясняется нахождением значительного количества коробочек в «мертвой» зоне, а также снижения степени сжатия стеблей льна между рабочим органом и декой из-за уменьшения толщины слоя льна подаваемого на обмолот. В пределах смещения от -0,02 до +0,03 м происходит незначительное изменение степени обмолота и достигается наибольшее ее значение. Смещение от +0,03 до +0,1 м происходит интенсивное снижение функции отклика из-за недомолота верхушечной части ленты льна, а также наблюдается вырывание стеблей льна из зажимного транспортера.

Значение зазора между рабочим органом и сепарирующей решеткой (декой) варьировалось в пределах от 0,005 м до 0,03 м и изменялось с интервалом 0,005 м (рис. 3, в). Анализируя результаты можно сделать вывод о том, что максимальное значение функции отклика было получено при зазоре 0,005 м, но при этом значении увеличивался отход стеблей в путанину по сравнению с отходом в путанину при зазоре 0,01 м и более, а также наблюдалось вырывание стеблей из зажимного транспортера. При увеличении зазора более 0,015 м степень обмолота интенсивно уменьшается в результате снижения сил трения и сил деформации коробочек льна. Рациональное значение зазора, при котором

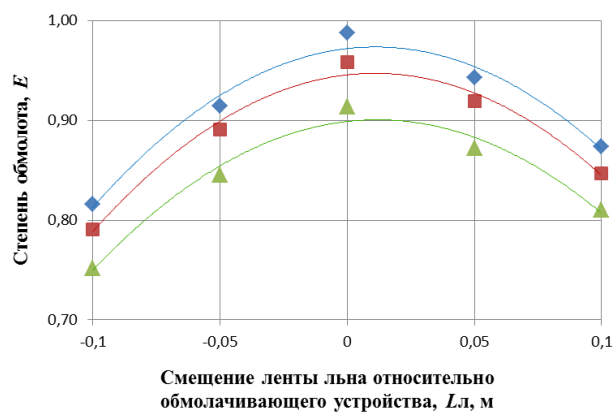
обеспечивается наиболее полный обмолот лент льна, а также наименьший стеблей в путанину, находится в пределах 0,01...0,015 м.

Угол установки рабочего органа относительно плоскости ленты льна удерживаемой зажимным транспортером варьировалась в пределах от 0,52 рад (30 град) до 1,22 рад (70 град) с интервалом 0,175 рад (10 град) (рис. 3, *з*). Проведя анализ результатов можно сделать вывод о том, что в диапазоне от 0,52 до 1,0 рад наблюдается увеличение функции отклика, а дальнейшее увеличение угла приводит к ее снижению. Наибольшее влияние угла установки наблюдается у рабочего органа с зубчатой поверхностью, что связано с зависимостью проникающей способности его зубьев в слой ленты льна от угла наклона рабочего органа. У рабочего органа с гладкой поверхностью влияние угла установки в заданном диапазоне незначительно. Для всех типов поверхностей рабочего органа рациональным значением угла установки, при котором наблюдается наибольшая степень обмолота, является диапазон 0,85...1,1 рад.

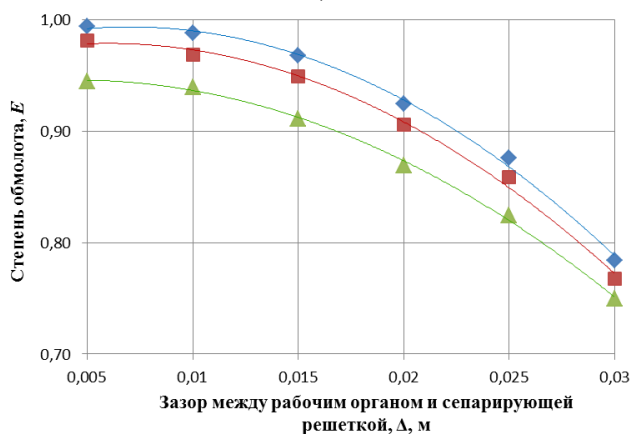
Толщина слоя ленты льна изменялась от 0,01 м до 0,05 м с интервалом 0,01 м. Проведя анализ результатов можно сделать вывод о том, что фактор является значимым. При увеличении толщины ленты льна более 0,03 м (рис. 3, *д*) степень обмолота значительно уменьшается, что связано в значительной степени с увеличением количества коробочек и семян находящихся внутри ленты льна, которые в последующем выносятся с лентой льна. Также, следует отметить, что с увеличением толщины слоя ленты льна увеличиваются силы сжатия ленты в пространстве между рабочим органом и сепарирующей решеткой и силы трения, это приводит к росту повреждения стеблей льна и их выдергивание из зажимного транспортера. При уменьшении слоя ленты льна ниже 0,02 м у рабочих органов с рифленной параболической поверхностью и зубчатой рабочей поверхностью наблюдается незначительное снижение степени обмолота, это объясняется тем, что часть семенных коробочек проскальзывают в межзубовом пространстве. Рациональной величиной толщины слоя ленты льна подаваемой на обмолот прием толщину в пределах 0,01...0,03 м.



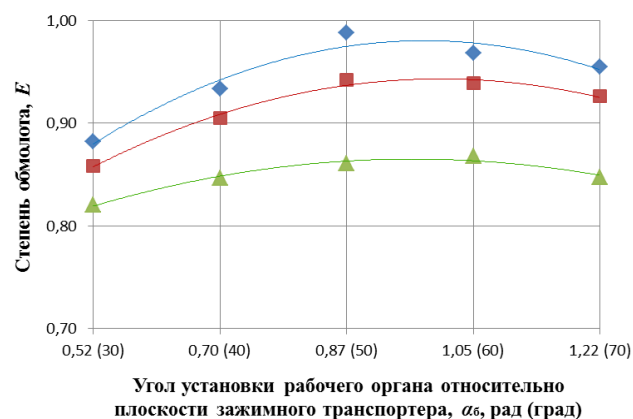
а)



б)



в)



з)

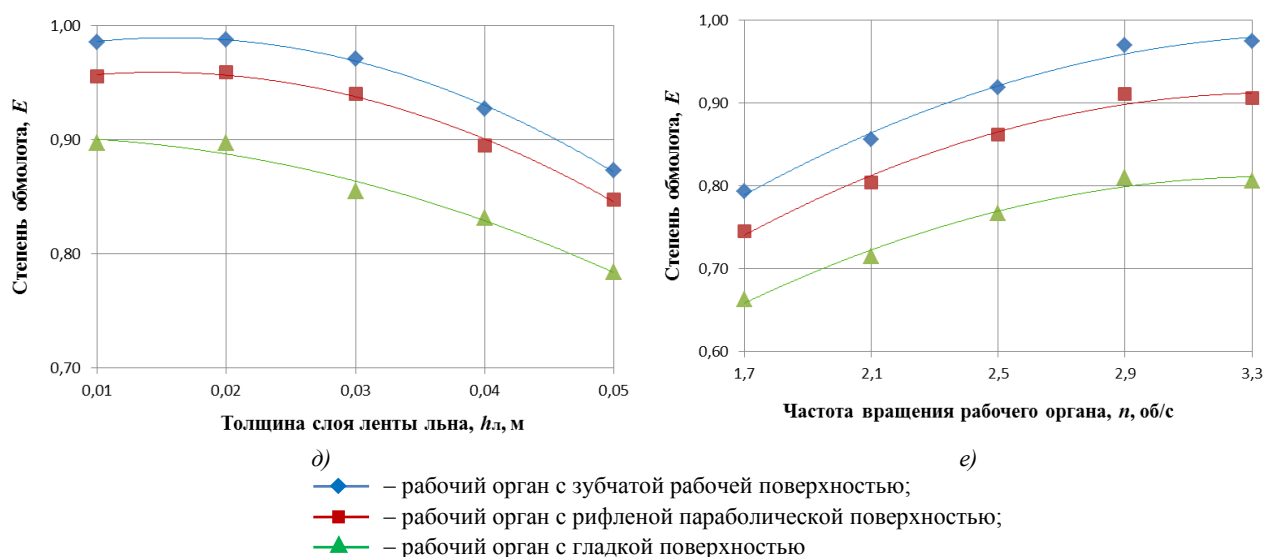


Рис. 3. Зависимость степени обмолота от а) скорости подачи ленты льна; б) смещение ленты льна относительно обмолачивающего устройства; в) зазора между рабочим органом и сепарирующей решеткой; г) угла установки рабочего органа относительно плоскости зажимного транспортера; д) толщины слоя ленты льна е) частоты вращения рабочего органа

При проведении поисковых экспериментов изучалось влияние частоты вращения рабочего органа на параметр оптимизации процесса обмолота. Проведя анализ результатов, можно сделать вывод о том, что фактор является значимым. Частота вращения рабочего органа изменялась от 1,7 до 3,3 об/с, интервал варьирования 0,4 об/с (рис. 3, е). Нижняя граница изменения параметра принималась исходя из условия хотя бы однократного воздействия рабочего органа на ленту льна, верхняя граница определялась в процессе проведения эксперимента согласно допустимым агротехническим требованиям повреждения семян, стеблей и отхода их в путанину. При частоте вращения рабочего органа 1,7 об/с наблюдается наихудший показатель степени обмолота для трех поверхностей рабочего органа, что объясняется недостаточным воздействием рабочего органа на ленту льна находящуюся в молотильном зазоре, образуются пропуски, огрехи и недомолот. При частоте вращения рабочего органа от 1,7 до 2,6 об/с происходит интенсивное нарастание функции отклика, при дальнейшем увеличении частоты вращения происходит незначительное увеличение степени обмолота, однако увеличивается травмирование стеблей льна. Поэтому рациональным значением является частота вращения рабочего органа от 2,7 до 3,2 об/с.

Заключение

По результатам проведенных поисковых экспериментов было установлено, что наиболее рационально применять рабочий орган с зубчатой рабочей поверхностью. Он обеспечивает наиболее полный обмолот ленты льна по сравнению с рабочими органами с рифленой параболической поверхностью и гладкой поверхностью, во всех случаях проведения опытов (рис. 3). Это объясняется тем, что наличие клиновидных зубьев обеспечивает их проникновение в нижние слои и уплотнение ленты льна.

Анализ проведенных поисковых экспериментов обмолачивающего устройства с эластичным рабочим органом и сепарирующей решеткой (декой) и построенные на их основе графики позволили нам определить рациональные интервалы варьирования факторов при обмолоте ленты льна, исходя из обеспечения высокой степени обмолота, низкой степени травмирования семян, повреждения стеблей и отхода их в путанину: частота вращения рабочего органа – 2,7...3,2 об/с; скорость подачи ленты льна – 1,2...1,6 м/с; зазор между рабочим органом и сепарирующей решеткой (декой) – 0,01...0,015 м; угол установки рабочего органа относительно плоскости зажимного транспортера – 0,85...1,10 рад; толщина слоя ленты льна – 0,01...0,03 м; смещение ленты льна относительно обмолачивающего устройства от -0,02 до +0,03 м. При этом было получено максимальное значение степени обмолота равное 0,989.

ЛИТЕРАТУРА

1. Шаршунов, В. А. Анализ механизированных технологий уборки и первичной переработки льна / В. А. Шаршунов, А. С. Алексеенко, М. В. Цайц, В. А. Левчук. – Вестник БГСХА. – 2017. – №2. – С. 137–141.

2. Шаршунов, В. А. Анализ устройств для отделения семян льна от стеблей / В. А. Шаршунов, А. С. Алексеенко, М. В. Цайц, В. А. Левчук. – Вестник БГСХА. – 2017. – №4. – С. 174–180.
3. Шаршунов, В. А. Исследование обмолачивающего устройства в линии первичной переработки льна / В. А. Шаршунов, В. Е. Кругленя, А. С. Алексеенко, В. А. Левчук, М. В. Цайц, 2015 // Весці НАН Беларусі. Сер. аграр. навук. – № 3. – С. 112–117.
4. Устройство для отделения семенных коробочек от стеблей льна: пат. 7224 Респ. Беларусь, МПК А 01F 11/00 / В. Е. Кругленя, М. В. Лёвкин, В. И. Коцуба, С. Н. Крепочин, В. А. Левчук; заявитель Белорус. гос. с.-х. акад. – № u 20100607; заявл. 06.07.10; опубл. 02.02.11 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2011. – № 2 – С. 154.
5. Устройство для выделения семян из ленты льна: пат. 8183 Респ. Беларусь, МПК А01D 45/06 / В. Е. Кругленя, М. В. Лёвкин, В. А. Левчук; заявитель УО «БГСХА». – № u 20110743; заявл. 29.09.11; опубл. 30.04.12 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2012. – №2 – С. 197.
6. Обмолачивающее устройство ленты льна: пат. 8332 Респ. Беларусь, МПК А01F 11/02 / В. Е. Кругленя, М. В. Лёвкин, В. А. Левчук; заявитель Белорус. гос. с.-х. акад. – № u 20110745; заявл. 29.09.11; опубл. 30.06.12 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2012. – №3. – С. 196.
7. Левчук, В. А. Результаты экспериментальных исследований обмолачивающего устройства с эластичным рабочим органом в линии первичной переработки льна / В. А. Левчук, М. В. Цайц. – Вестник БГСХА. – 2021. – №1. – С. 150–155.
8. Кузьминский, А. С. Физико-механические основы получения, переработки и применения эластомеров. – М.: Химия, 1976. – 368 с.
9. Анисимов Э. В. Общетехнический справочник / Э. В. Анисимов, В. П. Законников, А. Н. Малов и др.; Под ред. А. Н. Малова. – М.: Машиностроение, 1971. – 464 с.