

## МЕХАНИЗАЦИЯ И СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЕ МАШИНОСТРОЕНИЕ

УДК: 631.358:633.52

### РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ОБМОЛАЧИВАЮЩЕГО УСТРОЙСТВА С ЭЛАСТИЧНЫМ РАБОЧИМ ОРГАНОМ В ЛИНИИ ПЕРВИЧНОЙ ПЕРЕРАБОТКИ ЛЬНА

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 13.01.2021)

В осваиваемой в Республике Беларусь западноевропейской технологии 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, главными и серьезными недостатками которых 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 методика и результаты экспериментальных исследований по определению степени обмолота коробочек льна обмолачивающим устройством с эластичным рабочим органом, которое позволяет повышать степень выделения коробочек льна и семян, при этом зубчатая поверхность рабочего органа обеспечивает качественную работу обмолачивающего устройства без обрыва стеблей льна и отхода в путанину. Опровергнута гипотеза об описании результатов экспериментов линейной моделью. С учетом данных крутого восхождения был выбран центр эксперимента в новой точке, а также уточнены интервалы и уровни варьирования основных факторов, влияющих на степень обмолота. Получено уравнение регрессии второго порядка, которое отражает зависимость степени обмолота от скорости подачи ленты льна, зазора между эластичным рабочим органом и сепарирующей решеткой (декой) и частоты вращения барабана. Произведено раскодирование уравнения регрессии для интерпретации результатов и возможности его использования в качестве расчетной формулы. Определены рациональные границы исследуемых параметров, которые варьируют в следующих пределах: скорость подачи ленты льна от 1,2 до 1,6 м/с; зазор между сепарирующей решеткой (декой) и эластичным рабочим органом от 0,01 до 0,02 м; частота вращения рабочего органа от 2,5 до 3,5 об/с. Обмолот коробочек льна в разработанном устройстве предлагаемого типа производится в оптимальном режиме при частоте вращения рабочего органа 3,09 об/с, зазор между сепарирующей решеткой (декой) и эластичным рабочим органом 0,01 м, скорость подачи ленты льна 1,25 м/с, при этом степень обмолота составит 99,46 %.

**Ключевые слова:** лен, очесывающее устройство, обмолачивающее устройство, коробочки льна, семена льна, ворох льна, обмолот, очес, лента льна, линия первичной переработки льна.

In the Western European technology of harvesting and primary processing of flax, mastered in the Republic of Belarus, threshing (stripping) of bolls is carried out in the lines of primary processing of Van Dommele or Depoortere. The stripping process in these lines of primary processing is carried out by a comb stripper, the main and serious disadvantages of which are increased damage and stems getting tangled, 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 the methodology and results of experimental studies to determine the degree of threshing of flax bolls with a threshing device with an elastic working body, which allows you to increase the degree of selection of flax bolls and seeds, while the toothed surface of the working body ensures high-quality operation of the threshing device without breaking flax stalks and getting them tangled. The hypothesis about the description of experimental results by a linear model is refuted. Taking into account the data of steep ascent, the center of the experiment was selected at a new point, and the intervals and levels of variation of the main factors affecting the degree of threshing were clarified. A second-order regression equation is obtained, which reflects the dependence of degree of threshing on the feed rate of the flax band, the gap between the elastic working body and the separating grid (deck) and the drum rotation frequency. The regression equation was decoded to interpret the results and possibly use it as a calculation formula. The rational boundaries of investigated parameters have been determined, which vary within the following limits: the feed rate of the flax band is from 1.2 to 1.6 m / s; the gap between the separating grid (deck) and the elastic working body is from 0.01 to 0.02 m; working body rotation frequency from 2.5 to 3.5 rev / s. The threshing of flax bolls in the developed device of the proposed type is carried out in the optimal mode at a rotational speed of the working body of 3.09 rev / s, the gap between the separating grid (deck) and the elastic working body is 0.01 m, the feed speed of flax band is 1.25 m / s, while the degree of threshing will be 99.46 %.

**Key words:** *flax, stripper, threshing device, flax bolls, flax seeds, flax heap, threshing, stripping, flax band, flax primary processing line.*

### **Введение**

Для Республики Беларусь лен-долгунец является одной из основных технических культур он дает три вида сырья для промышленности: волокно, семена и костру. Льняное волокно повышает конкурентоспособность текстильной промышленности нашей республики, поскольку спрос на льняные ткани в мире постоянно растет. Эффективность производства льна может быть увеличена его универсальностью использования. Семена льна могут использоваться в пищевой промышленности. Наличие в льняной костре большого количества лигнина делает его привлекательным для производства топливных брикетов или пеллет [1]. Низкосортное короткое волокно нашло свое широкое применение в производстве утеплителя, медицинской ваты, бинтов, а также для производства бумаги и тепло- и шума-изоляционных плит. Отходы переработки льна при производстве льняного масла являются очень хорошим кормом для животных [2].

В технологической цепочке производства льна-долгунца наиболее значимыми процессами являются уборка и первичная переработка. Имеющиеся недостатки механизированных технологий уборки и первичной переработки льна-долгунца, вызванные стремлением к полной механизации процессов и увеличению производительности труда, способствовали созданию комбинированной технологии. Ее применение возможно при наличии полного комплекса машин и оборудования, необходимых для существующих технологических операций, что приводит к росту ресурсоемкости и эксплуатационных затрат [3]. В осваиваемой в Республике Беларусь заводской технологии уборки и первичной переработки льна-долгунца обмолот (очес) коробочек осуществляется в линиях первичной переработки льна Van Dommele, Cheh Flax Mashinery или Depoortere. В данных линиях первичной переработки используются гребневые очесывающие аппараты с присущими им недостатками [4, 5].

В связи с этим, считаем важной задачей, имеющей практическое значение для льноводства – совершенствование процесса обмолота стеблей в линии первичной переработки льна и разработка обмолачивающего устройства с целью повышения его эффективности.

В настоящее время, как за рубежом, так и в Республике Беларусь наибольшее распространение получили однобарабанные очесывающие аппараты с круговым поступательным движением гребней [4, 5, 6]. Сущность технологического процесса очеса коробочек льна подобными устройствами заключается в проникновении системы зубьев в слой стеблей, разделении его на полоски, в процессе принудительного прочёсывания последних с исправлением дефектов ориентации и нарушением связей между стеблями и спутавшимися коробочками [4]. Существенными недостатками устройств подобного типа являются повышенные повреждения, выдергивания из зажимного транспортера и отход стеблей в путанину, возникающие в результате прочёсывания ленты спутанных и сцепленных между собой стеблей льна [4].

Для уменьшения отхода стеблей в путанину и снижения их повреждаемости при осуществлении процесса отделения семян в линии первичной переработки льна в УО БГСХА разработано обмолачивающее устройство с эластичным рабочим органом [7, 8, 9]. Эластичный рабочий орган установлен под острым углом к плоскости зажимного транспортера и совершает ударно-вытирающее воздействие с одновременным нарушением механических связей между стеблями и коробочками льна. За счет последовательных ударов обеспечивается интенсивное выделение коробочек и семян, застрявших в ленте льна, с минимальным количеством отходов стеблей в путанину.

Цель исследований – определение математической модели, описывающей процесс обмолота коробочек льна разработанным обмолачивающим устройством с эластичным рабочим органом, в зависимости от исследуемых конструктивных и технологических параметров.

### **Основная часть**

Для исследования процесса обмолота, влияния основных конструкторских и технологических параметров устройства на качественные показатели его работы, была разработана и изготовлена специальная лабораторная установка (рис. 1).

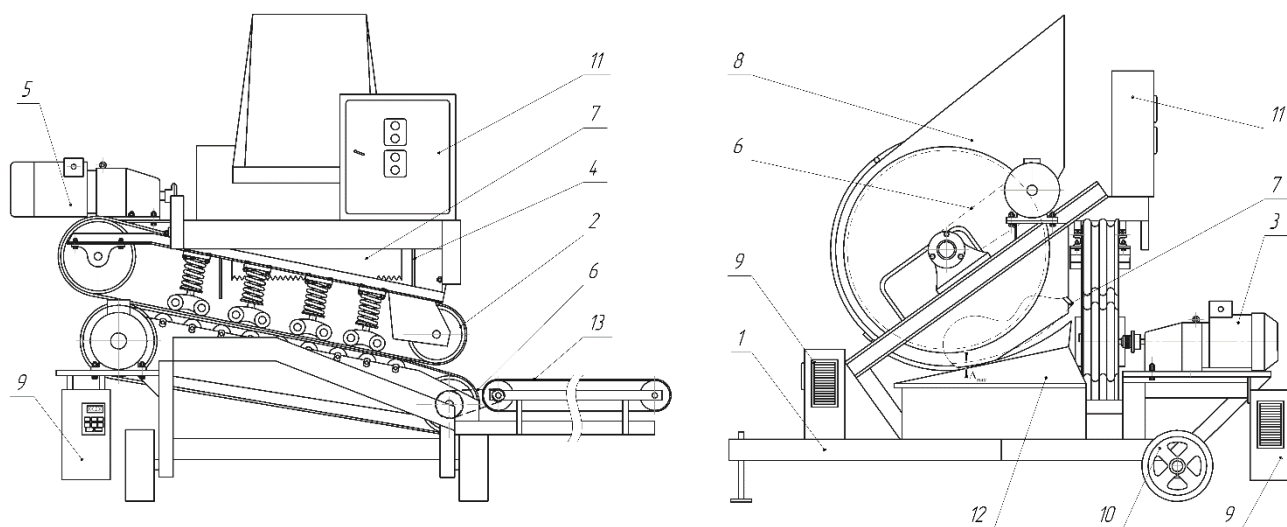


Рис. 1. Схема лабораторной установки:

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 включает в себя раму 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. Также на раме 1 закреплен 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. Профиль рабочей поверхности бича 7 имеет зубчатую форму. 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.

Конструкция лабораторной установки позволяет в необходимых пределах изменять следующие параметры: частоту вращения рабочего органа; угол наклона рабочего органа; смещение подаваемой на обмолот ленты льна относительно зажимного транспортера; толщина слоя подаваемой на обмолот ленты льна; скорость подаваемой на обмолот ленты льна; зазор между рабочим органом и сепарирующей решеткой (декой).

В опытах варьировали следующие факторы:

1. Смещение подаваемой на обмолот ленты льна относительно зажимного транспортера оказывает отрицательное влияние, поскольку в процессе обмолота образуются участки семенной части ленты льна выходящие за границы зоны эффективного обмолота, таким образом снижается степень отделения коробочек и семян от стеблей льна. Этот эффект наблюдается при смещении ленты льна в обе стороны, поэтому нижний и верхний пределы варьирования устанавливались из условия обеспечения максимального воздействия рабочего органа на верхушечную (семенную) часть стеблей льна и принимались равным  $-0,1$  и  $+0,1$  м, при этом отрицательное значение соответствует смещению ленты льна в сторону удаления от оси вращения рабочего органа, а положительное – в сторону приближения к ней. Шаг изменения величины принимался равным 0,05 м [5].

2. Скорость подаваемой на обмолот ленты льна оказывает значительное влияние на процесс обмолота. Увеличение скорости снижает число воздействий рабочего органа на ленту льна, что вызывает снижение степени обмолота. Законом изготовителем линии первичной переработки льна установлена минимальная скорость движения ленты льна на уровне 1,2 м/с. Нижняя и верхняя границы устанавливались из условия обеспечения производительности технологической линии. Поэтому значение

границ принималось в пределах от 1,2 м/с до 2,0 м/с. Шаг изменения скорости был принят равным 0,2 м/с [5].

3. Угол установки рабочего органа относительно плоскости зажимного транспортера в значительной степени влияет на процесс обмолота. Увеличение угла установки способствует более глубокой проникаемости зубьев эластичного рабочего органа в ленту льна, что ведет к увеличению степени обмолота. Уменьшение угла наклона обеспечивает плавный вход на начальном этапе взаимодействия бича с лентой льна, однако, при дальнейшем движении рабочего органа пятно контакта рабочей поверхности бича с лентой льна увеличивается при этом увеличивается сила трения, а следовательно и мощность на привод. Нижняя граница принималась равной  $30^\circ$ , верхняя –  $70^\circ$ . Шаг изменения принят равным  $10^\circ$  [5].

4. Толщина слоя ленты льна оказывает влияние на качественные показатели обмолота, такие как степень обмолота, повреждения стеблей льна и травмирование семян льна. Чем больше толщина подаваемой на обмолот ленты льна, тем ниже показатель проникаемости зубчатого бича в обрабатываемый слой, тем самым снижается уплотняющая способность бича, а соответственно и снижается степень обмолота. Увеличение толщины слоя ленты льна без увеличения зазора между декой и эластичным рабочим органом приведет к увеличению степени сжатия слоя, что в свою очередь приведет к увеличению разрывных усилий при рабочем движении бича. Недостаточная толщина приведет к большому травмированию стеблей. Пределы варьирования значения толщины слоя ленты льна устанавливались исходя из возможной минимальной и максимальной урожайности и принимались равными: нижний – 0,01 м, верхний – 0,05 м. Шаг принимался равным 0,01 м [5].

5. Зазор между рабочим органом и сепарирующей решеткой (декой) оказывает существенное влияние на степень отделения семян от стеблей, поскольку увеличение зазора снижает степень обмолота, а увеличение больше толщины подаваемой на обмолот ленты льна и вовсе исключает процесс обмолота, при этом уменьшение зазора положительно сказывается на степени обмолота. Кроме того зазор имеет важное значение для получения семян высоких посевных кондиций. Малый зазор приведет к чрезмерному травмированию семян и повреждению стеблей. Пределы варьирования устанавливались исходя из возможной минимальной и максимальной толщины обмолачиваемого слоя, которая определялась соответствующей урожайностью льна. Нижняя граница принималась равной 0,01 м, верхняя – 0,03 м. Шаг изменения принят равным 0,005 м [5].

6. Частота вращения рабочего органа оказывает существенное влияние на параметр оптимизации процесса обмолота. Низкая частота приводит к недостаточному числу воздействий рабочего органа на семенную часть ленты льна, вследствие чего будут образовываться пропуски и недомолот. Высокая частота вращения приведет к многократному воздействию на один и тот же участок ленты, что приведет к повреждению стеблей и снижению номерности волокна. Увеличение частоты вращения рабочего органа влечет за собой увеличение линейной скорости воздействия на обрабатываемый материал, критическое значение которой приводит к повреждению стеблей и травмированию семян. Значение нижней границы устанавливалось исходя из условия однократного воздействия рабочего органа на ленту льна, рассчитывалась теоретически и принималось равным 1,7 об/с. Шаг изменения принимался равным 0,4 об/с. Значение верхней границы устанавливалось в ходе проведения эксперимента по максимальному значению параметра оптимизации исходя из обеспечения максимальной степени обмолота, согласно допустимым агротребованиям повреждения стеблей и отхода их в путанину, и составило 3,3 об/с [5].

В качестве оптимизирующего параметра принималась степень обмолота –  $E$  (%). Обмолачиваемая лента льна укладывалась на подающий транспортер 13 длиной 2,2 м, в виде слоя равной толщины в горизонтальном положении. Исследования проводились с лентой льна влажностью 13–15 %, средней длиной стеблей – 0,72 м и растянутостью ленты льна – 1,1. После запуска установки лента льна подающим транспортером 13 подводилась к зажимному транспортеру 2, который в свою очередь протаскивал ленту льна в зажатом состоянии через камеру обмолота 8 с одновременным обмолотом эластичным рабочим органом 7 обмолачивающего барабана 4. Далее обмолоченная лента льна укладывалась на пол, а полученный ворох льна за счет воздушного потока, образуемого рабочим органом, выбрасывался из камеры обмолота в накопительную емкость. Опыты проводились в трехкратной повторности.

В результате проведения поисковых и отсеивающих экспериментов были определены наиболее значимые факторы и их интервалы варьирования. В своих экспериментах при движении к оптимальному значению степени обмолота использовали шаговый метод [10]. Первый этап этого метода под-

разумеает варьирование факторов (табл. 1) на двух уровнях (-1) – наименьшее значение фактора и (+1) – наибольшее значение фактора.

Таблица 1. Уровни и интервалы варьирования факторов

Наименование фактора	Обозначение	Уровни и интервалы варьирования	
		(-1)	(+1)
Скорость подачи ленты льна, м/с	$x_1$	1,2	2,0
Зазор между рабочим органом и декой, м	$x_3$	0,01	0,03
Частота вращения рабочего органа, об/с	$x_6$	1,7	3,3

С целью определения оптимальных сочетаний выделенных факторов, были проведены эксперименты, согласно матрице планирования полного факторного эксперимента  $2^3$ , которая включала восемь опытов в трехкратной повторности. После проведения экспериментов проводилось крутое восхождение по поверхности отклика [10].

По их результатам были определены коэффициенты регрессии:  $b_0 = 89,04$ ;  $b_1 = -2,513$ ;  $b_3 = -2,738$ ;  $b_6 = 2,788$ ;  $b_{1,3} = 1,913$ ;  $b_{1,6} = -0,813$ ;  $b_{3,6} = 1,513$ .

Сравнив абсолютное значение коэффициентов регрессии с величиной доверительного интервала  $\Delta b_i = \pm 2,27$ , можно сделать вывод, что на параметр оптимизации существенное влияние оказывают только линейные эффекты. Парные взаимодействия не оказывают существенного влияния на параметр оптимизации.

Сравнительная оценка расчетного и табличного критерия Фишера показала, что гипотезу об описании результатов экспериментов линейной модели следует отвергнуть. Расчетное значение критерия Фишера  $F_p=3,79$  больше табличного  $F_T=3,01$  [10].

На основании проведенных расчетов можно сделать заключение, что линейная модель для описания результатов эксперимента не может быть принята.

$$\hat{y} = 89,04 - 2,513 \cdot x_1 - 2,738 \cdot x_3 + 2,788 \cdot x_6 \quad (1)$$

С целью получения более благоприятных условий для проведения следующей стадии проведения эксперимента, нами было проведено «движение по градиенту».

«Движение по градиенту» начинали из центра определенного плана и осуществляли путем пропорционально изменения факторов в зависимости от оценок координат вектора-градиента, в качестве которых выступали соответствующие коэффициенты линейной модели в кодированном виде, тем самым получали условия мысленных экспериментов. Движение продолжали до получения наилучшего значения степени обмолота.

Таблица 2. Результаты движения по градиенту

Уровень	Факторы			$\bar{y}$	
	Скорость подачи ленты льна, м/с	Зазор между рабочим органом и декой, м	Частота вращения рабочего органа, об/с		
	$x_1$	$x_3$	$x_6$		
Верхний уровень (+)	2	0,03	3,3		
Основной уровень (0)	1,6	0,02	2,5		
Нижний уровень (-)	1,2	0,01	1,7		
Крутое восхождение					
Коэффициент регрессии, $b_i$	-2,5125	-2,7375	2,7875		
Интервал варьирования фактора, $m$	0,4	0,01	1		
$b_i \cdot m$	-1,0050	-0,0274	2,2300		
Шаг, соответствующий изменению $x_1$ на 0,2	-0,2000	-0,0054	0,4438		
Округленный шаг	-0,20	-0,005	0,40		
Движение к оптимуму	Шаг 1	2	0,030	1,7	92,80
	2	1,80	0,025	2,10	94,30
	3	1,60	0,020	2,50	96,20
	4	1,40	0,015	2,90	97,90
	5	1,20	0,010	3,30	99,20
	6	1,00	0,005	3,70	97,10

В результате анализа нами был выбран трехуровневый план второго порядка Бокса-Бенкина для трех факторов, включающий 15 опытов [10]. Опыты проводились в трехкратной повторности в рандомизированном порядке. С учетом данных крутого восхождения центр эксперимента был выбран в новой точке. Интервалы и уровни варьирования факторов приведены в табл. 3.

Таблица 3. Уровни и интервалы варьирования факторов

Наименование фактора	Обозначение	Уровни и интервалы варьирования			
		(-1)	(0)	(+1)	<i>m</i>
Скорость подачи ленты льна, м/с	$x_1$	1,2	1,4	1,6	0,2
Зазор между рабочим органом и декой, м	$x_3$	0,01	0,015	0,02	0,005
Частота вращения рабочего органа, об/с	$x_6$	2,5	3,0	3,5	0,5

После проведения опытов по полученным результатам производили расчет коэффициентов регрессии. В результате расчетов получили следующие значения коэффициентов регрессии:

$$b_0 = 98,2; b_1 = -0,4; b_3 = -0,713; b_6 = 0,363; b_{1,3} = 0,325; b_{1,6} = -0,675; \\ b_{3,6} = -0,05; b_1^2 = -0,3; b_3^2 = 0,025; b_6^2 = 0,425.$$

Подставляя полученные значения коэффициентов регрессии в уравнение описания области оптимума второго порядка, получим уравнение регрессии в кодированном виде:

$$y = 98,2 - 0,4 \cdot x_1 - 0,713 \cdot x_3 + 0,363 \cdot x_6 + 0,325 \cdot x_{1,3} - \\ - 0,675 \cdot x_{1,6} - 0,05 \cdot x_{3,6} - 0,3 \cdot x_1^2 + 0,025 \cdot x_3^2 + 0,425 \cdot x_6^2 \quad (2)$$

Оценку адекватности модели второго порядка производили путем сравнения табличного критерия Фишера с расчетным его значением. Поскольку  $F_p = 1,94 < F_T = 2,51$ , то гипотеза об описании результатов эксперимента уравнением второго порядка (2) принимается [10].

После раскодирования уравнения (2) по общепринятой методике [10] и преобразования, получили следующее уравнение:

$$E = 79,36 + 34,38 \cdot v_{л} - 567,5 \cdot \Delta_{вых} + 0,275 \cdot n + 325 \cdot \Delta_{вых} \cdot v_{л} - \\ - 6,75 \cdot n \cdot v_{л} - 20 \cdot n \cdot \Delta_{вых} - 7,5 \cdot v_{л}^2 + 1000 \cdot \Delta_{вых}^2 + 1,7 \cdot n^2, \quad (3)$$

где  $v_{л}$  – скорость подачи ленты льна, м/с;  $\Delta_{вых}$  – зазор между рабочим органом и декой, м;  $n$  – частота вращения рабочего органа, об/с.

Подставляя в уравнение (3) значения факторов, соответствующих их нулевым уровням, получим степень обмолота  $E = 98,29$  %. В результате экспериментов, проведенных при этих же уровнях факторов, получили степень обмолота семян  $E = 98,20$  %. Разность между расчетным и экспериментальным значениями не превышает 5 %. На основании этого можно сделать вывод, что экспериментальные данные хорошо согласуются с расчетными и подтверждаются ими.

Нахождение оптимальных параметров сводили к решению задач оптимизации. Задачи решали двойственным симплекс-методом в Microsoft Excel на ПЭВМ. В результате решения задач были получены оптимальные значения:  $n = 3,09$  об/с,  $\Delta_{вых} = 0,01$  м,  $v_{л} = 1,25$  м/с, при этом  $E = 99,46$  %.

### Заключение

В УО БГСХА разработано обмолачивающее устройство с эластичным рабочим органом в линии первичной переработки льна. В результате реализации программы планирования экспериментальных исследований получена адекватная математическая модель, описывающая степень обмолота коробочек льна от исследуемых конструктивных и технологических параметров процесса обмолота для установки предлагаемого типа. Установлено, что рациональные границы исследуемых параметров варьируют в следующих пределах: скорость подачи ленты льна от 1,2 до 1,6 м/с; зазор между сепарирующей решеткой (декой) и эластичным рабочим органом от 0,01 до 0,02 м; частота вращения рабочего органа от 2,5 до 3,5 об/с. Обмолот коробочек льна в разработанном устройстве предлагаемого типа производится в оптимальном режиме при  $n = 3,09$  об/с,  $\Delta_{вых} = 0,01$  м,  $v_{л} = 1,25$  м/с, при этом  $E = 99,46$ .

Полученные результаты могут служить для анализа и моделирования качественной оценки процесса обмолота коробочек льна обмолачивающим устройством с эластичным рабочим органом.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Шаршунов, В. А. Определение размерных характеристик компонентов вороха льнокостры / В. А. Шаршунов, Н. С. Сентюров, М. В. Цайц // Вестник БГСХА. – 2020. – №3. – С. 169–175.
2. Шаршунов, В. А. Состояние льноводческой отрасли Республики Беларусь и пути повышения ее эффективности / В. А. Шаршунов, А. С. Алексеенко, М. В. Цайц // Вестник БГСХА. – 2019. – №2. – С. 267–271.
3. 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.
4. 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.

5. 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.
6. Limont, A. S. Morphological indices of fiber flax stalks and machines for its harvesting / A. S. Limont // Europäische Fachhochschule. 2015. № 1. С. 79–84.
7. 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.
8. 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.
9. 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.
10. Мельников, С. В. Планирование эксперимента в исследованиях сельскохозяйственных процессов / С. В. Мельников, В. Р. Алешкин, П. М. Рошин. – Л.: Колос, 1980. – 168 с.