

ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЦЕССА ОБМОЛОТА ЛЕНТ ЛЬНА ЭЛАСТИЧНЫМ РАБОЧИМ ОРГАНОМ

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 18.01.2021)

Достичь высокого качества льнопродукции и ее рентабельной реализации всеми уровнями льняной отрасли в рыночных условиях на внутреннем и внешнем рынках возможно лишь выведением льноводства на современный технологический уровень путем технического переоснащения, перевооружения и совершенствования организации производства. Конкурентоспособность льняной отрасли формируется из конкурентоспособности каждого из переделов – возделывание льна на льнотресту, первичная переработка льна на льноволокно, изготовление тканей и готовых изделий. На каждом из переделов должно обеспечиваться производство качественной продукции по конкурентоспособным ценам.

В данной статье приводятся результаты экспериментальных исследований влияния скорости подаваемой на обмолот ленты льна, зазора между сепарирующей решеткой (декой) и рабочим органом, а также частоты вращения рабочего органа на величину степени обмолота лент льна обмолачивающим устройством с эластичным рабочим органом.

Установлено, что при принятых пределах варьирования исследуемых факторов и используемой точности измерений на величину степени обмолота обмолачивающим аппаратом с эластичным рабочим органом наибольшее влияние оказывают: скорость подаваемой на обмолот ленты льна; зазор между сепарирующей решеткой (декой) и рабочим органом; частота вращения рабочего органа. Полученная математическая модель, описывающая процесс обмолота коробочек льна эластичным рабочим органом, позволяет определить значения факторов, при которых достигается максимальное значение степени обмолота лент льна: скорость подачи ленты льна – 1,2...1,3 м/с; зазор между рабочим органом и сепарирующей решеткой (декой) – 0,010...0,012 м; частота вращения рабочего органа – 2,9...3,3 об/с. Полученные результаты могут служить основанием для проектирования обмолачивающих аппаратов подобной конструкции.

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

Achieving high quality of flax products and their profitable sale by all levels of flax industry in market conditions in the domestic and foreign markets is possible only by bringing flax growing to a modern technological level through technical re-equipment, re-equipment and improvement of production organization. The competitiveness of linen industry is formed from the competitiveness of each of the redistributions – the cultivation of flax for straw, primary processing of flax into flax fiber, production of fabrics and finished products. Each of the redistributions must ensure the production of quality products at competitive prices.

This article presents results of experimental studies of the influence of speed of flax band supplied to threshing, the gap between the separating grate (deck) and the working body, as well as the rotational speed of the working body on the value of degree of threshing of flax bands by a threshing device with an elastic working body.

It was found that with the accepted variation limits of the investigated factors and the used measurement accuracy, the magnitude of the degree of threshing by a threshing apparatus with an elastic working body is mostly influenced by: the speed of flax band supplied to threshing; the gap between the separating grid (deck) and the working body; working body rotation frequency. The obtained mathematical model, which describes the process of threshing of flax bolls with an elastic working body, allows you to determine the values of factors at which the maximum value of degree of threshing of flax belts is achieved: the feed rate of flax band is 1.2 ... 1.3 m / s; the gap between the working body and the separating grid (deck) – 0.010 ... 0.012 m; working body rotation frequency – 2.9 ... 3.3 rev / s. The results obtained can serve as a basis for the design of threshing apparatus of a similar design.

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

Введение

Конкурентоспособность льняной отрасли формируется из конкурентоспособности каждого из переделов – возделывание льна на льнотресту, первичная переработка льна на льноволокно, изготовление тканей и готовых изделий. На каждом из переделов должно обеспечиваться производство качественной продукции по конкурентоспособным ценам.

Лен-долгунец является культурой двойного назначения (льноволокно и семена), максимальные сборы льнотресты и семян льна достигаются в разные стадии зрелости [1]. Для уборки льна сегодня применяются механизированные технологии уборки (комбайновая и раздельная), а также их различное сочетание в зависимости от ситуации складывающейся на уборке. Для каждой из которых был разработан комплекс машин. При раздельной двухфазной уборке выполняются теребление с укладкой стеблей в ленты, а затем их оборачивание в поле. Очес лент льна и сбор семенного материала осуществляется либо в поле прицепными очесывателями ОСВ-100 и NECANY 2008 или самоходными двухпоточными подборщиками-очесывателями «Depoortere», либо обмолот (очес) коробочек осуществляется в линиях первичной переработки льна Van Dommele, Cheh Flax Mashinery или Depoortere [1, 2, 3].

В деле повышения урожайности и товарной продукции льна, расширения посевных площадей положение льноводства в Республике Беларусь не соответствует требованиям современного времени (рис. 1).

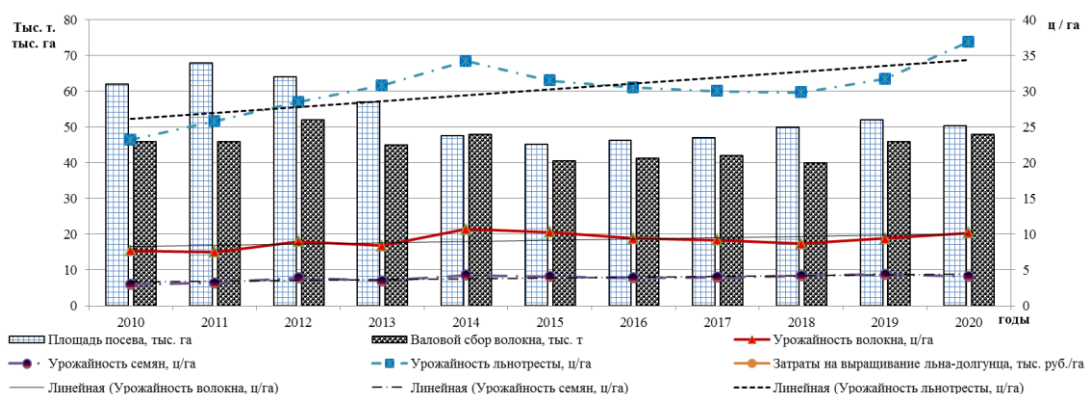


Рис. 1. Динамика изменения посевных площадей, урожайности и валовых сборов льнопродукции в Республике Беларусь

Посевные площади льна за последние десять лет существенно снизились на 26 % и установились на уровне 50 тыс. га. Урожайность льноволокна колеблется в пределах от 7,5 ц/га в 2011 г. до 10,7 ц/га в 2014 г. и в последние годы в среднем составила 9,1 ц/га. Урожайность семян льна колеблется в пределах от 3,0 ц/га в 2010 г. до 4,4 ц/га в 2019 г. и в среднем за последние годы составила 3,9 ц/га. Колебание урожайности льнотресты за последнее десятилетие находится в пределах от 23,2 ц/га в 2010 г. до 36,9 в 2020 г. и в среднем за десять лет составила 30,3 ц/га. При этом валовые сборы как льнотресты, так и льносемян не всегда соответствуют их урожайности и посевным площадям. Недобор урожая часто связан с недостаточным техническим вооружением льносеющих хозяйств.

К резервам снижения потерь льноволокна и льносемян, а также повышения эффективности производства льна в целом, следует отнести совершенствование процесса очеса (отделения) семенных коробочек от стеблей.

В мировой практике наибольшее распространение получили однобарабанные очёсывающие 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]. Кроме того в этом случае производители льна нередко сталкиваются с проблемой нераскрытых коробочек, которая затрудняет дальнейшую переработку и очистку семян льна.

Для повышения раскрываемости коробочек, 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 [8].

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 обеспечивает интенсивное выделение коробочек и семян, застрявших в ленте льна, с минимальным количеством отходов стеблей в путанину.

Основная часть

В результате глубокого, всестороннего исследования технологического процесса обмола лент льна в линии первичной переработки предлагаемым обмолачивающим устройством с эластичным рабочим органом, предусматривающего учет всех факторов, оказывающих влияние на протекание и конечные результаты изучаемого процесса были, выделены основные факторы проводимого многофакторного эксперимента (табл. 1).

Таблица 1. Результаты движения по градиенту

Наименование фактора	Условное обозначение	Единицы измерения
Частота вращения рабочего органа	n	об/с
Скорость подаваемой на обмолот ленты льна (скорость зажимного транспортера)	$V_{л}$	м/с
Угол установки рабочего органа относительно плоскости зажимного транспортера	α_6	град
Зазор между сепарирующей решеткой (декой) и рабочим органом	$\Delta_{вых}$	м
Смещение подаваемой на обмолот ленты льна относительно зажимного транспортера	$L_{л}$	м
Толщина слоя подаваемой на обмолот ленты льна	$h_{л}$	м

Исследования проводились с лентой льна поступающей на обмолот в линии первичной переработки влажностью 13–15 %, средней длиной стеблей – 0,72 м и растянутостью ленты льна – 1,1.

Посредством проведения поисковых и отсеивающих экспериментов были определены наиболее значимые факторы и их интервалы варьирования [5]. Критерием оптимизации для изучаемого процесса отделения коробочек льна эластичным рабочим органом была принята степень обмолота – E , % [5, 8].

Основная часть

В результате предыдущих расчетов мы получили адекватную математическую модель второго порядка (1) для процесса обмолота лент льна обмолочивающим устройством с эластичным рабочим органом.

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

Произведем анализ поверхности отклика в окрестностях оптимума с помощью двумерных сечений [9].

Построим двумерное сечение поверхности отклика, характеризующее показатель степени обмолота лент льна в зависимости от скорости подачи ленты льна (x_1) и зазора между сепарирующей решеткой (декой) и рабочим органом (x_3). Для получения этого сечения подставляем значение частоты вращения рабочего органа $x_6 = 0$ в уравнение (1). В результате получим:

$$y = 98,2 - 0,4 \cdot x_1 - 0,713 \cdot x_3 + 0,325 \cdot x_{1,3} - 0,3 \cdot x_1^2 + 0,025 \cdot x_3^2. \quad (2)$$

Координаты центра поверхности определим продифференцировав уравнение (2) и затем решив полученную систему уравнений:

$$\begin{cases} \frac{dy}{dx_1} = -0,4 - 0,6 \cdot x_1 + 0,325 \cdot x_3; \\ \frac{dy}{dx_3} = -0,713 + 0,325 \cdot x_1 + 0,05 \cdot x_3; \end{cases} \quad (3)$$

Тогда: $x_{1s} = 1,56$; $x_{3s} = 4,111$,

где x_{1s} , x_{3s} , – координаты центра поверхности для факторов x_1 и x_3 при $x_6 = 0$.

Значение показателя степени обмолота в центре поверхности Y_s получили, подставляя значения новых координат центра поверхности x_{1s} и x_{3s} в уравнение регрессии (2).

$$Y_s = 98,2 - 0,4 \cdot 1,56 - 0,713 \cdot 4,111 + 0,325 \cdot 1,56 \cdot 4,111 - 0,3 \cdot 1,56^2 + 0,025 \cdot 4,111^2 = 99,424. \quad (4)$$

Затем проводим каноническое преобразование уравнения регрессии (2), используя стандартную методику [9]. Для этого решали характеристическое уравнение:

$$f(B_1) = \begin{vmatrix} b_{11} - B_1 & 1/2 \cdot b_{13} \\ 1/2 \cdot b_{13} & b_{33} - B_1 \end{vmatrix} = 0, \quad (5)$$

где B_1 , B_2 , B_3 – коэффициенты регрессии в канонической форме; b_i – коэффициент регрессии i -го фактора.

Решение уравнения поверхности отклика производили с помощью компьютерной программы Mathcad:

$$\begin{vmatrix} -0,3 - B_1 & 0,5 \cdot 0,325 \\ 0,5 \cdot 0,325 & 0,025 - B_1 \end{vmatrix} = B_1^2 - (-0,3 + 0,025) \cdot B_1 + (-0,3 \cdot 0,025 - 0,25 \cdot 0,325^2) = 0. \quad (6)$$

Собственно корнями данного характеристического уравнения (6) будут: $B_{11} = 0,092$; $B_{13} = -0,367$, тогда уравнение в канонической форме примет вид:

$$E - 99,424 = 0,092 \cdot x_1^2 - 0,367 \cdot x_3^2, \quad (7)$$

где E – значение степени обмолота.

Аналогичным образом строим двумерное сечение поверхности отклика в зависимости от скорости подачи ленты льна (x_1) и частоты вращения рабочего органа (x_6). Для получения этого сечения подставляем значение зазора между сепарирующей решеткой (декой) и рабочим органом $x_3=0$ в уравнение (1) и получим уравнение (8), затем строим двумерное сечение поверхности отклика в зависимости от зазора между сепарирующей решеткой (декой) (x_3) и частоты вращения рабочего органа (x_6). Для получения этого сечения подставляем значение скорости подачи ленты льна $x_1 = 0$ в уравнение (1) и получим уравнение (9):

$$y = 98,2 - 0,4 \cdot x_1 + 0,363 \cdot x_6 - 0,675 \cdot x_{1,6} - 0,3 \cdot x_1^2 + 0,425 \cdot x_6^2; \quad (8)$$

$$y = 98,2 - 0,713 \cdot x_3 + 0,363 \cdot x_6 - 0,05 \cdot x_{3,6} + 0,025 \cdot x_3^2 + 0,425 \cdot x_6^2. \quad (9)$$

Определяем координаты центра поверхности дифференцированием уравнений (8) и (9) с решением системы:

$$\begin{cases} \frac{dy}{dx_1} = -0,4 - 0,6 \cdot x_1 - 0,675 \cdot x_6; \\ \frac{dy}{dx_6} = 0,362 - 0,675 \cdot x_1 + 0,85 \cdot x_6; \\ x_{1s} = -0,606; x_{6s} = -0,054, \end{cases} \quad (10)$$

где x_{1s} , x_{6s} – координаты центра поверхности для факторов x_1 и x_6 при $x_3 = 0$.

$$\begin{cases} \frac{dy}{dx_3} = -0,713 - 0,05 \cdot x_6 + 0,05 \cdot x_3; \\ \frac{dy}{dx_6} = 0,363 - 0,05 \cdot x_3 + 0,85 \cdot x_6; \\ x_{3s} = 15,594; x_{6s} = 1,344, \end{cases} \quad (11)$$

где x_{3s} , x_{6s} – координаты центра поверхности для факторов x_3 и x_6 при $x_1 = 0$.

Проводим каноническое преобразование уравнения (1), для чего решим характеристические уравнения [9]:

$$f(B_2) = \begin{vmatrix} b_{11} - B_2 & 1/2 \cdot b_{16} \\ 1/2 \cdot b_{16} & b_{66} - B_2 \end{vmatrix} = 0, \quad (12)$$

$$f(B_3) = \begin{vmatrix} b_{33} - B_3 & 1/2 \cdot b_{36} \\ 1/2 \cdot b_{36} & b_{66} - B_3 \end{vmatrix} = 0, \quad (13)$$

В нашем случае:

$$\begin{vmatrix} -0,3 - B_2 & 0,5 \cdot 0,675 \\ 0,5 \cdot 0,675 & 0,425 - B_2 \end{vmatrix} = B_2^2 - 0,125 \cdot B_2 - 0,241 = 0. \quad (14)$$

$$\begin{vmatrix} 0,025 - B_3 & 0,5 \cdot 0,05 \\ 0,5 \cdot 0,05 & 0,425 - B_3 \end{vmatrix} = B_3^2 - 0,4 \cdot B_3 + 0,001 = 0. \quad (15)$$

Собственными числами (корнями) данных характеристических уравнений (14) и (15) будут: $B_{21}=0,558$; $B_{26}=-0,433$ и $B_{33}=0,373$; $B_{36}=0,027$ соответственно, при этом уравнения в канонической форме запишутся:

$$E - 98,292 = 0,558 \cdot x_1^2 - 0,433 \cdot x_6^2, \quad (16)$$

$$E - 98,947 = 0,373 \cdot x_3^2 + 0,027 \cdot x_6^2, \quad (17)$$

Затем проводили построение двумерных сечений [9]. Для этого в уравнения (7), (16) и (17) подставляли различные значения степени обмолота лент льна. В результате получили уравнения соответствующих контурных кривых – эллипсов. В совокупности все эти кривые представляют собой целое семейство сопряженных эллипсов – линий равного значения степени обмолота ленты льна. Результаты расчета представлены на рисунках 2–4.

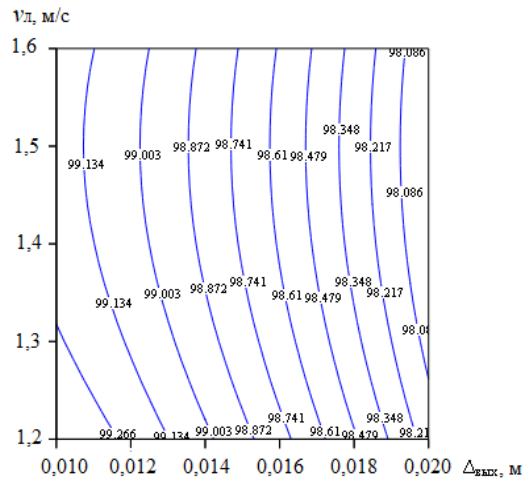


Рис. 2. Двумерное сечение поверхности отклика для факторов x_1 и x_3

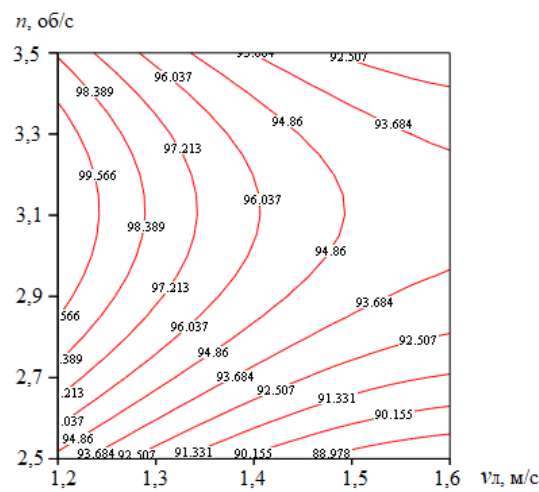


Рис. 3. Двумерное сечение поверхности отклика для факторов x_1 и x_6

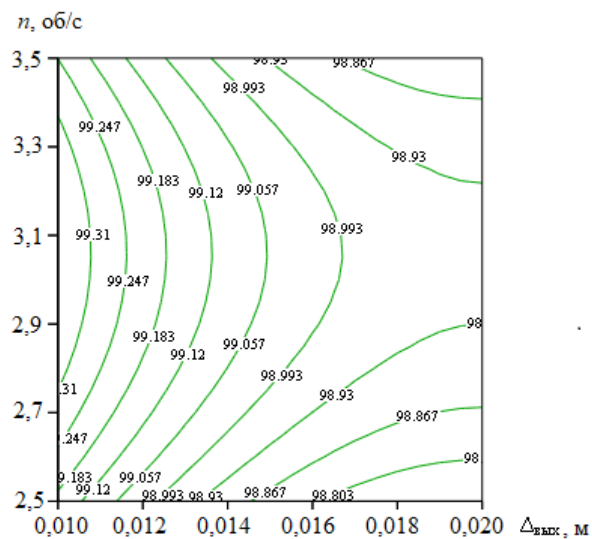


Рис. 4. Двумерное сечение поверхности отклика для факторов x_3 и x_6

Как видно из двумерного сечения поверхности отклика (рис. 2) оно представляет собой возвышающийся гребень. Максимальное значение степени обмолота в рассматриваемом сечении при x_6 взятом на нулевом уровне, равно 99,266 % и имеет место при зазоре между сепарирующей решеткой (декой) и рабочим органом 0,0115 м и скорости подаваемой на обмолот ленты льна 1,2 м/с.

Анализируя двумерное сечение поверхности отклика (рис. 3), видим, что сечение представляет собой усеченную седловину. Максимальное значение степени обмолота в рассматриваемом сечении при x_3 взятом на нулевом уровне, равно 99,566 % и имеет место при скорости подаваемой на обмолот ленты льна 1,2...1,25 м/с и частоте вращения рабочего органа 2,9...3,35 об/с.

Из двумерного сечения поверхности отклика (рис. 4), представляющей собой усеченную седловину, видно, что максимальное значение степени обмолота в рассматриваемом сечении при x_1 взятом на нулевом уровне, равно 99,31 % и имеет место при частоте вращения рабочего органа 2,8...3,25 об/с и зазоре между сепарирующей решеткой (декой) и рабочим органом 0,01...0,0115 м.

Рассмотрение двумерных сечений поверхности отклика (рис. 2, 3, 4), показывает, что исследуемые факторы оказывают существенное влияние на критерий оптимизации, а их область оптимума находится в следующих пределах: скорость подаваемой на обмолот ленты льна – 1,2...1,3 м/с; зазор между сепарирующей решеткой (декой) и рабочим органом – 0,010...0,012 м; частота вращения рабочего органа – 2,9...3,3 об/с.

Заключение

Установлено, что при принятых пределах варьирования исследуемых факторов и используемой точности измерений на величину степени обмолота обмолачивающим аппаратом с эластичным рабочим органом наибольшее влияние оказывают: скорость подаваемой на обмолот ленты льна; зазор между сепарирующей решеткой (декой) и рабочим органом; частота вращения рабочего органа. Полученная математическая модель, описывающая процесс обмолота коробочек льна эластичным рабочим органом, позволяет определить значения факторов, при которых достигается максимальное значение степени обмолота ленты льна: скорость подачи ленты льна – 1,2...1,3 м/с; зазор между рабочим органом и сепарирующей решеткой (декой) – 0,010...0,012 м; частота вращения рабочего органа – 2,9...3,2 об/с. Полученные результаты могут служить основанием для проектирования обмолачивающих аппаратов подобной конструкции.

ЛИТЕРАТУРА

1. Основы расчета рабочих органов машин и оборудования для производства семян льна / В. А. Шаршунов [и др.]. – Горки: БГСХА, 2016. – 156 с.
2. Алексеенко, А. С. Исследование рабочих органов машин для производства семян льна / А. С. Алексеенко, М. В. Цайц, В. А. Левчук. – LAP LAMBERT Academic Publishing / Copyright 2017 ICS Moreboks. Marketing SRL. Saarbrücken 2017. – 149 с.
3. Цайц М. В. Анализ состояния уборки льна-долгунца в Республике Беларусь / М. В. Цайц, А. С. Алексеенко. Аграрная наука – сельскому хозяйству: сборник материалов: в 2 кн. / XIII Международная научно-практическая конференция (15–16 февраля 2018 г.). Барнаул: РИО Алтайского ГАУ, 2018. – Кн. 2. – С. 202–203.
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. Левчук, В. А. Результаты исследования обмолачивающего устройства в линии первичной переработки льна / М. В. Цайц, В. А. Левчук // Новые материалы, оборудование и технологии в промышленности: материалы междунар. науч.-техн. конф. молод. ученых / М-во образования Респ. Беларусь, М-во образования и науки Рос. Федерации, Белорус.-Рос. ун-т; редкол.: И. С. Сазонов (гл. ред.) [и др.]. – Могилев: Белорус.-Рос. ун-т, 2016. – 23 с.
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. Левчук, В. А. Результаты исследования обмолачивающего устройства в линии первичной переработки льна / М. В. Цайц, В. А. Левчук // Новые материалы, оборудование и технологии в промышленности: материалы междунар. науч.-техн. конф. молод. ученых / М-во образования Респ. Беларусь, М-во образования и науки Рос. Федерации, Белорус.-Рос. ун-т; редкол.: И. С. Сазонов (гл. ред.) [и др.]. – Могилев: Белорус.-Рос. ун-т, 2016. – 23 с.
8. Левчук, В. А. Обмолот семенных коробочек льна в линии первичной переработки / В. А. Левчук, М. В. Цайц // Научно-практические аспекты технологий возделывания и переработки масличных и эфиромасличных культур: материалы Международной научно-практической конференции, РГАТУ, Рязань, 3–4 марта 2016. – Рязань: РГАТУ, 2016. – С. 130–137.
9. Мельников, С. В. Планирование эксперимента в исследованиях сельскохозяйственных процессов / С. В. Мельников, В. Р. Алешкин, П. М. Рошин. – Л.: Колос, 1980. – 168 с.