

МОДЕЛИРОВАНИЕ ДЕФОРМАЦИИ ФОРМЫ КОРОБОЧКИ ЛЬНА ПРИ ЕЕ СЖАТИИ МЕЖДУ БИЧОМ И ДЕКОЙ В ПРОЦЕССЕ ОБМОЛОТА

С. В. КУРЗЕНКОВ, 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)

Отделение семенной части урожая от стеблей льна имеет важное значение в комплексе уборочных работ и первичной переработки. От уровня его совершенства зависит величина урожая, размер потерь, качество льнопродукции, трудоемкость и энергоемкость сушки и обработки льновороха.

В целях повышения качества отделения семенной части от стеблей в линии первичной переработки в УО БГСХА разработано обмолачивающее устройство, сочетающее комбинированное очесывающее-плющильное воздействие эластичного рабочего органа, при взаимодействии с верхушечной частью ленты стеблей льна, находящейся в зоне обмолота. Для изучения характера взаимодействия рабочего органа с обрабатываемым материалом необходимо учитывать параметры его слоя в зоне обмолота.

В статье предложена методика, позволяющая определять зазор между бичом и декой, деформацию формы семенной коробочки льна при ее сжатии в молотильном зазоре между бичом и декой разработанного в УО БГСХА обмолачивающего устройства с эластичным рабочим органом в линии первичной переработки льна. Установлено, что величина молотильного зазора зависит от диаметра семенной коробочки льна, деформации семенной коробочки льна по вертикальной оси, а также величины деформации эластичного рабочего органа по вертикальной оси, возникающей при воздействии бича на семенную коробочку. Получена модель, позволяющая определить горизонтальные составляющие деформации формы коробочки льна при ее сжатии между бичом и декой в зависимости от диаметра семенной коробочки и величины ее деформации по вертикали. Приведен пример реализации методики расчета деформации формы коробочки льна при ее сжатии между бичом и декой в процессе обмолота в математическом пакете MathCa.

Аналитические зависимости, рассмотренные в данной статье, войдут в основу методики определения деформаций точек поверхности семенной коробочки при ее сжатии, усилий необходимых для ее разрушения, а также обоснования зазора между бичом и декой.

Ключевые слова: лен, обмолачивающее устройство, коробочки льна, лента стеблей льна, молотильный зазор, деформация формы, диаметр коробочки.

The separation of the seed part of the crop from the flax stalks is important in the complex of harvesting and primary processing. The level of its perfection determines the size of the crop, the amount of losses, the quality of flax products, the labor intensity and energy consumption of drying and processing flax heaps.

In order to improve the quality of separating the seed part from the stems in the primary processing line, a threshing device has been developed at Belarusian State Agricultural Academy, which combines the combined stripping and flattening effect of the elastic working body, while interacting with the top part of the flax stem tape located in the threshing zone. To study the nature of the interaction of the working body with the processed material, it is necessary to take into account the parameters of its layer in the threshing zone.

The article proposes a technique that allows to determine the gap between the flail and the deck, the deformation of the shape of the flax seed boll when it is compressed in the threshing gap between the flail and the deck of a threshing device with an elastic working body in the line of primary processing of flax developed at the Belarusian State Agricultural Academy. It has been established that the value of the threshing gap depends on the diameter of the flax seed boll, the deformation of the flax seed boll along the vertical axis, as well as the magnitude of the deformation of the elastic working body along the vertical axis that occurs when the flail acts on the seed boll. A model has been obtained that makes it possible to determine the horizontal components of the deformation of the shape of a flax boll when it is compressed between the flail and the deck, depending on the diameter of the seed boll and the magnitude of its deformation along the vertical. An example of the implementation of the method for calculating the deformation of the shape of a flax boll during its compression between the flail and the deck during threshing is given in the MathCa mathematical package.

The analytical dependencies discussed in this article will form the basis of the methodology for determining the deformation of the surface points of the seed boll during its compression, the forces necessary for its destruction, as well as the justification of the gap between the flail and the deck.

Key words: flax, threshing device, flax bolls, flax stalk tape, threshing gap, shape deformation, boll diameter.

Введение

Обмолот имеет важное значение в комплексе уборочных работ и при первичной переработки льна-долгунца, поскольку в зависимости от применяемой технологии может осуществляться как в поле, так и в линии первичной переработки льна Van Dommele или Depoortere. От уровня его совершенства зависит величина урожая, размер потерь, качество льнопродукции, трудоемкость и энергоемкость сушки и обработки льновороха [1, 2, 3, 4].

В целях повышения качества отделения семенной части от стеблей в линии первичной переработки в УО БГСХА разработано обмолачивающее устройство, сочетающее комбинированное очесывающее-плющильное воздействие эластичного рабочего органа (бича) при взаимодействии с верхушеч-

ной частью ленты льна, находящейся в рабочем (молотильном) зазоре (между сепарирующей решеткой и эластичным зубчатым бичом) [5, 6, 7, 8]. В верхушечной части стеблей расположены семенные коробочки, которые необходимо отделить от стеблей льна или разрушить.

С целью изучения характера взаимодействия рабочего органа с семенными коробочками необходимо определить деформации формы коробочки при ее сжатии между бичом и декой.

Основная часть

Лен-долгунец относится к культурным видам и характеризуется тем, что спелые коробочки его остаются закрытыми (не растрескиваются). Для выделения семян необходимо разрушить коробочки в процессе обмолота. При отделении семян от стеблей льна разработанным устройством, лента льна движется транспортером в зоне обмолота в зажатом в комлевой части стеблей состоянии. В нижней части зоны обмолота жестко закреплена сепарирующая решетка (дека), а в верхней части расположен кривошипный механизм, обеспечивающий движение эластичного рабочего органа (бича) по некоторой криволинейной траектории [4–8]. Движение бича производится поперек транспортируемой ленты льна по направлению от зажимного транспортера к верхушечной части ленты. При этом обмолот происходит главным образом за счет плющения семенных коробочек. При плющении отделение коробочек от стеблей сопровождается их разрушением в момент нахождения их в пространстве между эластичным рабочим органом и сепарирующей решеткой. На качество отделения семенного материала от стеблей оказывает влияние молотильный зазор, величину которого принимают исходя из размеров семенных коробочек [9, 10]. Семенная коробочка льна представляет собой шаровидную мелкую коробочку длиной 6,1–8,3 мм, шириной 5,7–6,8 мм [11].

Чтобы смоделировать ситуацию сжатия коробочки льна между бичом и декой сделаем ее привязку к пространственной системе координат $Oxyz$ (рис. 1). При этом коробочку льна будем рассматривать в виде шара диаметром d_k , поместив центр системы координат в точку O , в которой шар касается нижней плоскости. Выбор точки O обуславливается тем, что именно эта точка не меняет свои координаты в результате деформации. Тогда коробочка льна в выбранной системе координат будет описываться уравнением:

$$x^2 + y^2 + \left(z - \frac{d_k}{2}\right)^2 = \left(\frac{d_k}{2}\right)^2. \quad (1)$$

Введем обозначения:

Δ – зазор между бичом и декой, м; Δ_{kx} , Δ_{ky} , Δ_{kz} , – параметры деформации формы коробочки льна в направлении осей координат, соответственно Ox , Oy , Oz , м; Δ_6 – деформация эластичного рабочего органа при сжатии и взаимодействии с коробочкой льна, м.

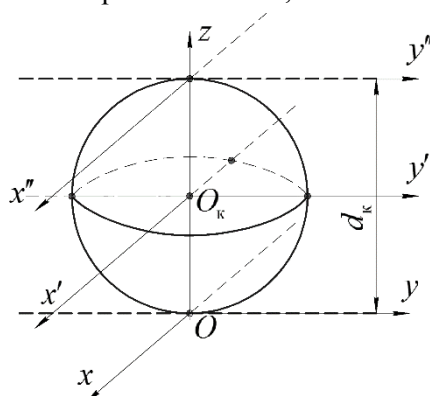


Рис. 1. Схема привязки коробочки льна к пространственной системе координат

Деформацию коробочки льна между бичом и декой рассмотрим, как сжатие пластичного круглого тела при смещении его верхней части плоскостью. Выдвинем при этом следующие допущения:

- 1) площади воздействующих плоскостей намного больше поверхности коробочки льна;
- 2) деформации формы шара в направлении осей Ox и Oy одинаковые ($\Delta_{kx} = \Delta_{ky}$);
- 3) деформация коробочки льна, при условии ее неразрушения, происходит без растяжения ее оболочки и изменения объема.

Тогда целесообразно рассмотреть три случая состояния коробочки льна между подвижной эластичной плоскостью (плоскостью бича) и неподвижной жесткой плоскостью (плоскостью деки) (рис. 2): 1) $d_k < \Delta$ – сжатия и деформации коробочки не происходит; 2) $d_k = \Delta$ – момент фиксации ко-

робочки льна между рассматриваемыми плоскостями; 3) $d_k < \Delta$ – состояние коробочки льна, при котором происходит активное ее сжатие и деформация.

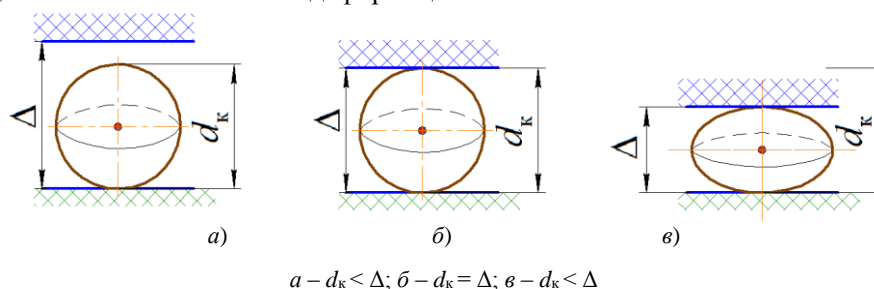


Рис. 2. Состояния коробочки льна находящейся между плоскостью бича и деки

Так как с точки зрения деформации коробочки льна нам интересен третий случай, то рассмотрим его подробнее. В данном случае при попадании коробочки льна между декой и бичом происходит ее сжатие, т. е. форма коробочки из шаровидной приобретает форму эллипсоида с полуосями:

$\frac{d_k}{2} + \Delta_{kx}$ (Ox); $\frac{d_k}{2} + \Delta_{ky}$ (Oy); $\frac{d_k}{2} + \Delta_{kz}$ (Oz) и центром смещенным в точку $O'_k \left(0; 0; \frac{d_k - \Delta_{kz}}{2} \right)$. Уравнение такого эллипсоида имеет вид:

$$\frac{x^2}{\left(\frac{d_k}{2} + \frac{\Delta_{kx}}{2} \right)^2} + \frac{y^2}{\left(\frac{d_k}{2} + \frac{\Delta_{ky}}{2} \right)^2} + \frac{\left(z - \left(\frac{d_k - \Delta_{kz}}{2} \right) \right)^2}{\left(\frac{d_k}{2} - \frac{\Delta_{kz}}{2} \right)^2} = 1, \quad (2)$$

где – величины Δ_{kx} , Δ_{ky} , Δ_{kz} формы деформации коробочки льна.

При этом наблюдается следующая связь между диаметром коробочки льна, зазором между сжимающимися плоскостями Δ , деформацией по оси $Oz - \Delta_{kz}$ и деформацией эластичного рабочего органа Δ_6 :

$$d_k = \Delta + \Delta_{kz} + \Delta_6; \quad (3)$$

$$\Delta = d_k - \Delta_{kz} - \Delta_6; \quad (4)$$

$$\Delta_{kz} = d_k - \Delta - \Delta_6. \quad (5)$$

Для того чтобы полностью определить уравнение деформируемой поверхности коробочки льна при фиксированном Δ и Δ_6 определим величины деформации ее формы в направлении осей координат: Δ_{kx} , Δ_{ky} , Δ_{kz} . Для этого рассмотрим следующую схему (рис. 3).

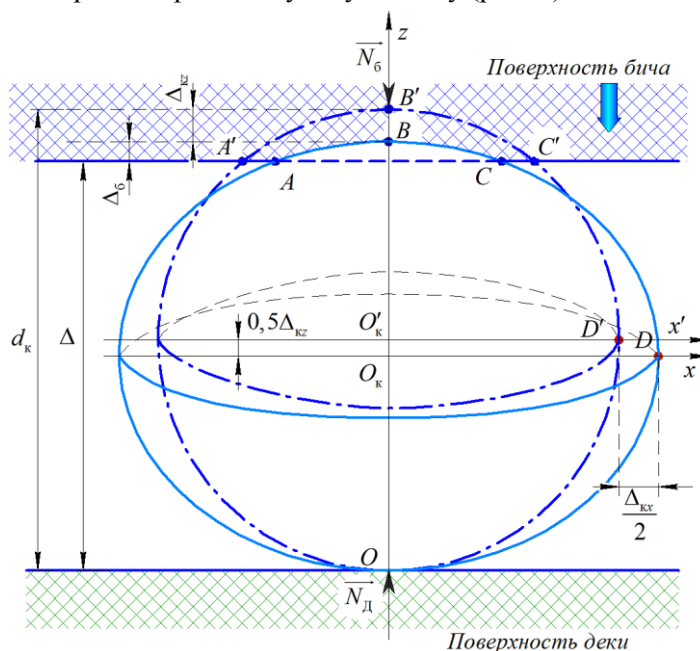


Рис. 3. Схема к определению деформации коробочки льна при ее сжатии между бичом и декой

Параметры $\Delta_{кx}$ и $\Delta_{кy}$ возможно найти из условия неизменности объема шара и эллипсоида. Согласно [12]

$$V_{ш} = \frac{4}{3} \cdot \pi \cdot R^3, \quad (6)$$

$$V_{эл} = \frac{4}{3} \cdot \pi \cdot a \cdot b \cdot c, \quad (7)$$

где R – радиус шара, в нашем случае $R=d_k/2$;
 a, b, c – полуоси эллипсоида, $a=b=d_k/2+\Delta_{кx}$; $c=d_k/2-\Delta_{кz}/2$.
 Получим равенство:

$$\left(\frac{d_k}{2}\right)^3 = \left(\frac{d_k + \Delta_{кx}}{2}\right)^2 \cdot \left(\frac{d_k - \Delta_{кz}}{2}\right), \quad (8)$$

Из него выразим $\Delta_{кx}$:

$$\begin{aligned} \left(\frac{d_k + \Delta_{кx}}{2}\right)^2 &= \frac{d_k^3}{8} \cdot \frac{2}{d_k - \Delta_{кz}}, \\ \frac{(d_k + \Delta_{кx})^2}{4} &= \frac{d_k^3}{4 \cdot (d_k - \Delta_{кz})}, \\ d_k + \Delta_{кx} &= \pm \sqrt{\frac{d_k^3}{d_k - \Delta_{кz}}}. \end{aligned} \quad (9)$$

Так как

$$d_k + \Delta_{кx} > 0 \Rightarrow d_k + \Delta_{кx} = \sqrt{\frac{d_k^3}{d_k - \Delta_{кz}}}. \quad (10)$$

Это же равенство можно переписать в виде

$$d_k + \Delta_{кx} = d_k \sqrt{\frac{d_k}{d_k - \Delta_{кz}}}, \quad (11)$$

Выразим из формулы (11) $\Delta_{кx}$,

$$\Delta_{кx} = d_k \sqrt{\frac{d_k}{d_k - \Delta_{кz}}} - d_k,$$

или

$$\Delta_{кx} = d_k \left(\sqrt{\frac{d_k}{d_k - \Delta_{кz}}} - 1 \right). \quad (12)$$

Тогда математическая модель формы деформируемой коробочки льна при заданных Δ и Δ_δ будет иметь вид:

$$\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} + \frac{(z-c)^2}{c^2} = 1. \quad (13)$$

где a, b, c – параметры определяющие полуоси эллипсоида;

$$a = b = d_k \left(\sqrt{\frac{d_k}{d_k - \Delta_{кz}}} - 1 \right);$$

$$c = \frac{d_k - \Delta_{кz}}{2}.$$

Продемонстрируем пример расчета деформации формы коробочки льна при ее сжатии между бичом и декой в математическом пакете MathCad.

Предположим, что диаметр семенной коробочки льна находящейся в молотильном зазоре между бичом и декой $d_k = 0,005$ м, а деформация по оси Oz $\Delta_{кz} = 0,001$ м согласно [13].

Деформация семенной коробочки льна по осям Ox и Oy согласно формуле (12) составит

$$\Delta_{кx} = d_k \left(\sqrt{\frac{d_k}{d_k - \Delta_{кz}}} - 1 \right) = 0,00059 \text{ м.}$$

При этом объемы шара и эллипсоида будут равны $6,545 \cdot 10^{-8} \text{ м}^3$.

Вариант оформления исходных данных и расчетной части в математическом пакете MathCad показан на рис. 4.

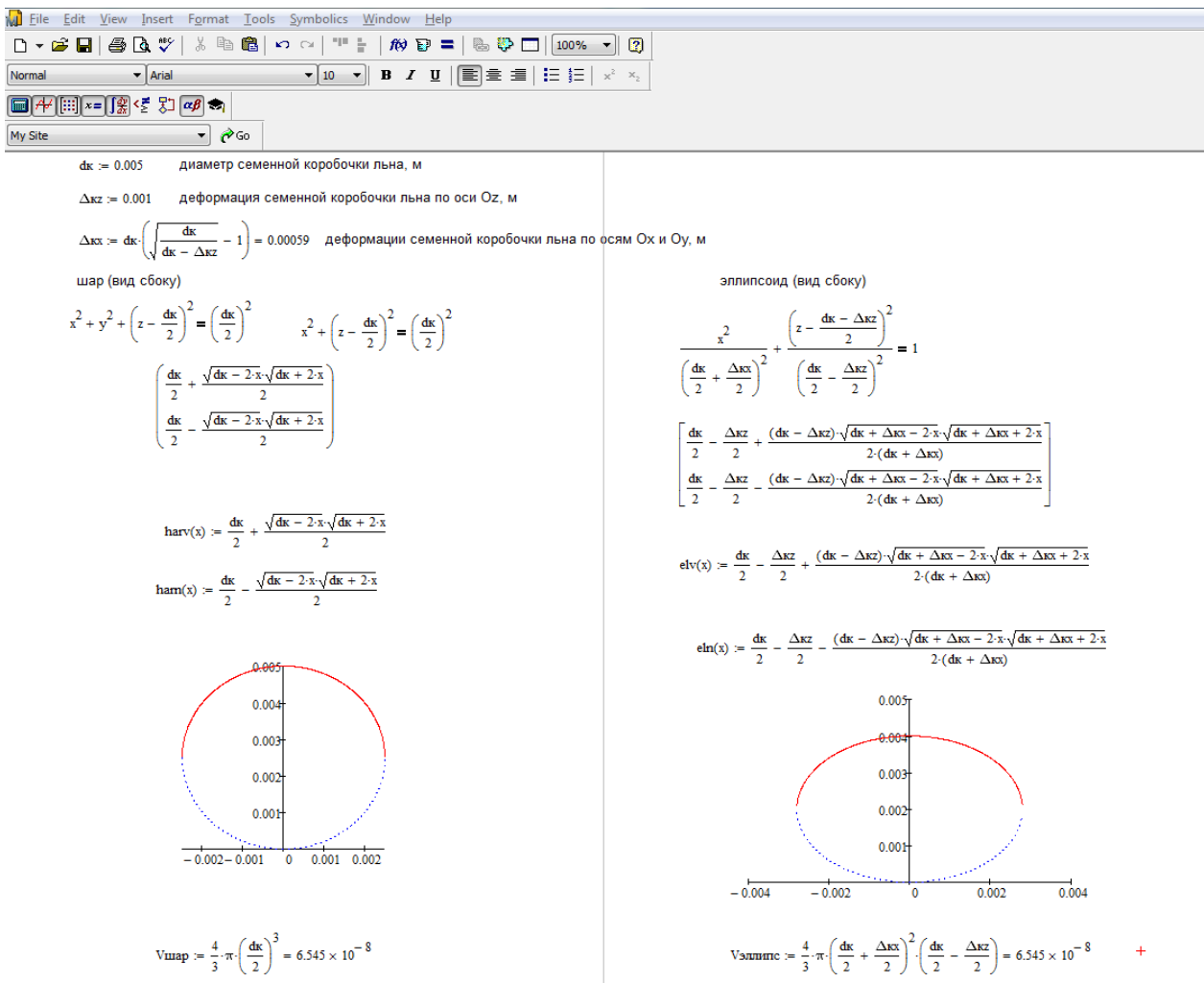


Рис. 4. Исходные данные, расчетная часть и графическое представление деформации формы коробочки льна при ее сжатии между бичом и декой, реализованная в математическом пакете MathCad

Результаты модели (12) позволяют определить деформации формы коробочки льна Δ_{kx} и Δ_{ky} при ее сжатии между бичом и декой в зависимости от Δ_{kz} и диаметра семенной коробочки d_k . При этом величина Δ_{kz} значительно больше величин Δ_{kx} и Δ_{ky} .

Совмещение формы коробочки льна до и после сжатия (вид с боку) показано на рис. 5.

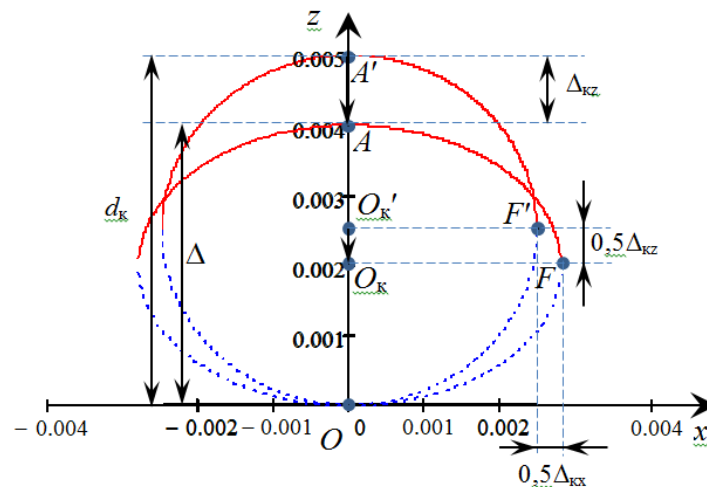


Рис. 5. Совмещение формы коробочки льна до и после сжатия (вид с боку)

Из рис. 5 видно, что в процессе деформации коробочка льна изменяет свою форму из шаровидной в эллипсоидную, при этом происходит смещение центра коробочки из точки O_k' в точку O_k на величину $0,5\Delta_{кз}$.

Заключение

Установлено, что величина молотильного зазора Δ зависит от диаметра семенной коробочки льна d_k , деформации семенной коробочки льна по вертикальной оси $Oz - \Delta_{кз}$, а также величины деформации эластичного рабочего органа по вертикальной оси $Oz - \Delta_{кз}$ возникающей при воздействии бича на семенную коробочку.

Получена модель деформируемой при сжатии семенной коробочки льна. Разработана методика определения величины деформации формы коробочки льна $\Delta_{кx}$ и $\Delta_{кy}$ при ее сжатии между бичом и декой в зависимости от $\Delta_{кз}$ и диаметра семенной коробочки d_k .

Аналитические зависимости, рассмотренные в данной статье, войдут в основу методики определения деформаций точек поверхности семенной коробочки при ее сжатии, усилий необходимых для ее разрушения, а также обоснования зазора между бичем и декой.

ЛИТЕРАТУРА

1. Основы расчета рабочих органов машин и оборудования для производства семян льна: монография / В. А. Шаршунов [и др.]. – Горки: БГСХА, 2016. – 156 с.
2. 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.
3. 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.
4. Шаршунов, В. А. Исследование обмолачивающего устройства в линии первичной переработки льна / В. А. Шаршунов, В. Е. Круглень, А. С. Алексеенко, В. А. Левчук, М. В. Цайц // Весці НАН Беларусі. Сер. аграр. навук. – 2015 – № 3. – С. 112–117.
5. Устройство для отделения семенных коробочек от стеблей льна: пат. 7224 Респ. Беларусь, МПК А 01F 11/00 / В. Е. Круглень, М. В. Лёвкин, В. И. Коцуба, С. Н. Крепочин, В. А. Левчук; заявитель Белорус. гос. с.-х. акад. – № и 20100607; заявл. 06.07.10; опубл. 02.02.11 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2011. – № 2 – С. 154.
6. Устройство для выделения семян из ленты льна: пат. 8183 Респ. Беларусь, МПК А01D 45/06 / В. Е. Круглень, М. В. Лёвкин, В. А. Левчук; заявитель УО «БГСХА». – № и 20110743; заявл. 29.09.11; опубл. 30.04.12 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2012. – №2 – С. 197.
7. Обмолачивающее устройство ленты льна: пат. 8332 Респ. Беларусь, МПК А01F 11/02 / В. Е. Круглень, М. В. Лёвкин, В. А. Левчук; заявитель Белорус. гос. с.-х. акад. – № и 20110745; заявл. 29.09.11; опубл. 30.06.12 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2012. – №3. – С. 196.
8. Устройство для обмолаа коробочек льна: пат. 8494 Респ. Беларусь, МПК А01F 11/02 / В. Е. Круглень, М. В. Лёвкин, В. А. Левчук; заявитель Белорус. гос. с.-х. акад. – № и 20110746; заявл. 29.09.11; опубл. 04.08.12 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2012. – №4. – С. 177.
9. Райлян, Г. А. Повышение эффективности раздельной уборки льна применением двухбарабанного обмолачивающего устройства с эластичными билами: дис.... канд.техн.наук: 05.20.01. / Г. А. Райлян. – Горки, 2006. – 176 с.
10. Кудрявцев, А. Н. Повышение эффективности обмолаа льновороха эластичными вальцами молотилки: дис.... канд.техн.наук: 05.20.01. / А. Н. Кудрявцев. – Горки, 2001. – 182 с.
11. Льноводство / [Отв. ред. А. Р. Рогаш]. – М.: Колос, 1967. – 583 с.
12. Корн, Г. А. Справочник по математике для научных работников и инженеров / Г. А. Корн, Т. М. Корн; под общ. ред. И. Г. Арамановича. – М.: Наука, 1984. – 831с
13. Цайц, М. В. Определение усилия разрушения коробочек льна-долгунца / М. В. Цайц // Вестник Белорусской государственной сельскохозяйственной академии. – 2021. – № 4. – С. 93–99.