

ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ УСТАНОВКИ ЗАЖИМНОГО ТРАНСПОРТЕРА И ДЕКИ ОБМОЛАЧИВАЮЩЕГО УСТРОЙСТВА ЛИНИИ ПЕРВИЧНОЙ ПЕРЕРАБОТКИ**В. А. ШАРШУНОВ***УО «Белорусский государственный университет пищевых и химических технологий»,
г. Могилев, Республика Беларусь, 212027, e-mail: tguip@mogilev.by***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 15.03.2022)*

В разработанном в УО БГСХА обмолачивающем устройстве с эластичным рабочим органом линии первичной переработки льна технологический процесс обмолота определяют конструктивное исполнение и взаимное расположение основных рабочих органов таких, как зажимной транспортер, сепарирующая решетка и эластичный бич. Обмолот лент стеблей льна происходит в пространстве между бичом и декой, при этом сама лента стеблей льна удерживается зажимным транспортером. Смещение зажимного транспортера относительно траектории движения бича приводит к изменению как зоны обмолота, так и «мертвой зоны». Кроме того, воздействие бича на обрабатываемую ленту льна может привести к ее изгибу на величину больше предельного угла, что приведет к повреждению самих стеблей, а как следствие к потере урожая.

Получены аналитические зависимости позволяющие определить параметры взаимного расположения рычажного механизма и зажимного транспортера разрабатываемого обмолачивающего устройства с учетом их конструктивных параметров и технологических параметров процесса обмолота. Определена геометрическая форма сепарирующей решетки и параметры ее установки. Установлена связь параметров установки рабочих органов обмолачивающего устройства с технологическими параметрами процесса обмолота. Приведен пример расчета в математическом пакете MathCad, позволяющий определить параметры взаимного расположения зажимного транспортера, сепарирующей решетки и рычажного механизма предлагаемого обмолачивающего устройства при заданных параметрах рычажного механизма.

Аналитические зависимости, рассмотренные в данной статье, войдут в основу методики проектирования разрабатываемого обмолачивающего устройства с эластичным рабочим органом линии первичной переработки льна и моделирования процесса обмолота.

Ключевые слова: *лен, обмолачивающее устройство, эластичный рабочий орган, лента стеблей льна, зона обмолота, зажимной транспортер, сепарирующая решетка.*

In the threshing device with an elastic working body of the flax primary processing line developed at the BE BSHA, the technological process of threshing is determined by the design and relative position of the main working bodies of such a cassette conveyor, a separating grid and an elastic scourge. The threshing of the flax stalk strips takes place in the space between the whip and the deck, while the flax stalk belt itself is held by the clamping conveyor. The displacement of the clamping conveyor relative to the trajectory of the movement of the whip leads to a change in both the threshing zone and the «dead zone». In addition, the impact of the whip on the processed flax tape can lead to its bending by an amount greater than the limiting angle, which will damage the stems themselves, and as a result, yield loss.

Analytical dependences are obtained that allow determining the parameters of the relative position of the lever mechanism and the clamping conveyor of the developed threshing device, taking into account the design and technological parameters of the lever mechanism. The geometric shape of the separating grating and the parameters of its installation are determined. The relationship between the installation parameters of the working bodies of the threshing device and the technological parameters of the threshing process has been established. An example of a calculation in the mathematical package MathCad is given, which makes it possible to determine the parameters of the relative position of the clamping conveyor, the separating grid and the lever mechanism of the proposed threshing device for given parameters of the lever mechanism.

The analytical dependencies considered in this article will form the basis of the design methodology for the developed threshing device with an elastic working body of the flax primary processing line and modeling the threshing process.

Key words: *flax, threshing device, elastic working body, line of flax stalks, threshing zone, clamping conveyor, separating grid.*

Введение

Любой технологический процесс определяется его конструкторским исполнением и взаимным расположением рабочих органов. Это утверждение справедливо можно отнести и к обмолачивающему устройству лент льна линии первичной переработки, предложенному сотрудниками УО БГСХА. Основными узлами данного обмолачивающего устройства являются: зажимной транспортер, сепарирующая решетка и эластичный бич. Их состав и принцип работы подробно рассмотрены в источниках [1–3].

Эффективность работы разрабатываемого обмолачивающего устройства обеспечивается максимальной величиной степени обмолота (очесывания и разрушения семенных коробочек) ленты льна в зоне обмолота [4], что предполагает воздействие бича по всей ширине расположения семенных коробочек в ленте. Лента стеблей льна, подаваемая на обмолот, неоднородна и имеет отклонения по ее

ширине. Ее неоднородность зависит от длины стеблей льна. Также установлено [5], что участок расположения семенных коробочек льна в ленте по ее ширине изменяется в широком диапазоне.

Основная часть

Лента льна, подаваемая на обмолот, представляет собой слой стеблей, длина которых находится в пределах $0,7 \dots 1,2$ м. Стебли льна в ленте смещены друг относительно друга, это смещение характеризуется растянутостью ленты льна [6]. Кроме того, в ленте имеется относительный перекося стеблей.

Технологическим процессом предусматривается зажатие обмолачиваемой ленты льна зажимным транспортером на расстоянии $L_{кз} = 0,2 \dots 0,25$ м от комлевой части стеблей (рис. 1), часть ленты непосредственно удерживается транспортером $L_{зт} = 0,15$ м, а это значит, что изменению (в зависимости от урожая и растянутости стеблей в ленте) подвержена часть ленты льна $L_{об}$, в пределах которой расположена зона семенных коробочек $L_{ск}$ величина которой изменяется от $0,2$ до $0,35$ м (по некоторым источникам она может составлять $0,2 \dots 0,5$ м) [4, 7]. Чем больше зона расположения семенных коробочек в ленте $L_{ск}$, тем меньше остается расстояние от зажимного транспортера до нее. А это значит, что зона воздействия бича на ленту должна быть максимально приближена к зажимному транспортеру.

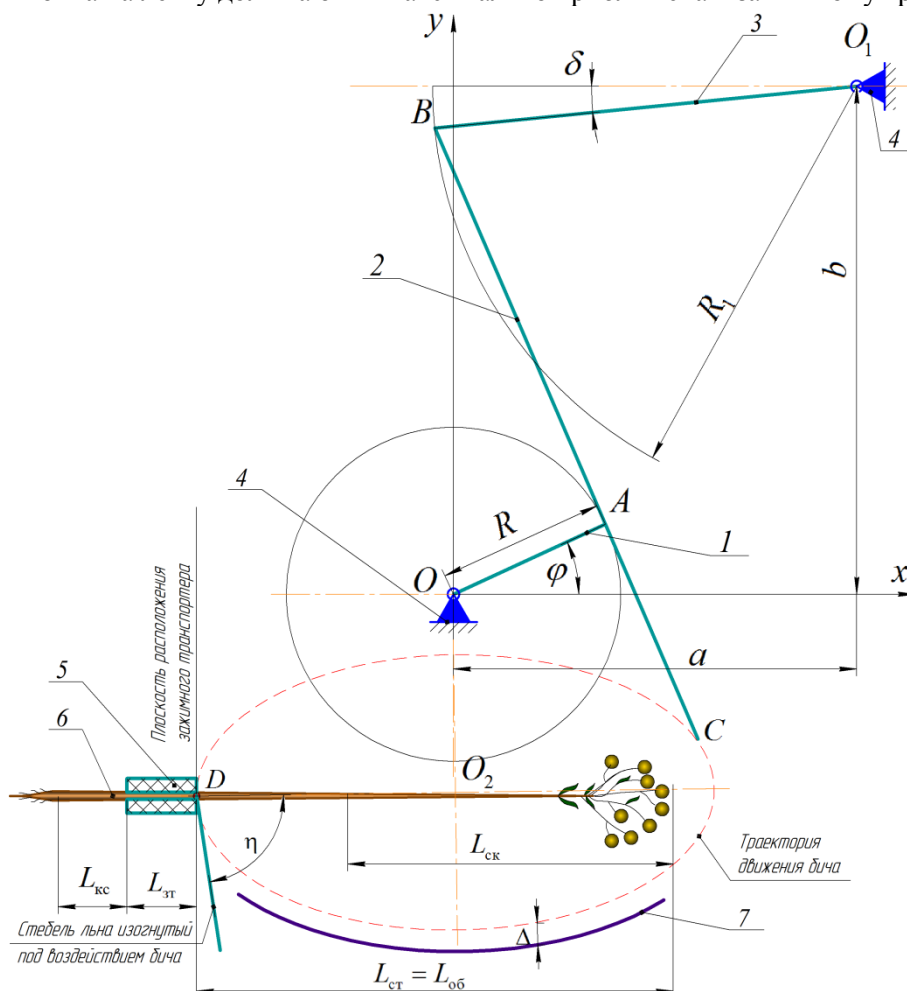


Рис. 1. Общая схема устройства: 1 – кривошип; 2 – шатун; 3 – коромысло; 4 – стойка; 5 – зажимной транспортер; 6 – лента стеблей льна; 7 – сепарирующая решетка (дека)

Также технологическим процессом предусмотрено, что бич (точка C на рис. 1), движущийся по криволинейной траектории, которая должна пересекать плоскость зажатой в транспортере ленты льна с одной стороны, а с другой стороны, не должна пересекать плоскость установки зажимного транспортера (во избежание заклинивания механизма). Этому условию удовлетворяет схема (рис. 1), где траектория движения бича максимально приближена к плоскости транспортера по оси Ox , а по оси Oy своим центром лежит на линии расположения ленты льна, и начало взаимодействия бича с лентой происходит в точке D .

Однако в таком случае возникает опасность излома стеблей льна. Поскольку бич, двигаясь по своей криволинейной траектории, преодолевая сопротивление изгибу стеблей льна, изгибает их в точке

D на некоторый угол η . Превышение угла η его предельного значения приведет к излому, а соответственно к повреждению стеблей, что отрицательно скажется на выходе длинного волокна.

Анализируя схему (рис. 1), можно заметить, что при таком расположении бича в точке D движется вертикально вниз, а угол η стремится к 90° , что существенно превышает предельное значение угла изгиба стебля $\eta_{\text{пред}} = 30 \dots 43^\circ$ (зависит от диаметра стебля) [8]. Решить проблему изгиба стеблей льна можно, подняв траекторию движения бича относительно линии стеблей льна, зажатых в транспортере, или отнеся ее вправо относительно зажимного транспортера. В обоих перечисленных случаях (рис. 2) возникает участок ленты льна, не подверженный воздействию рабочего органа $L_{\text{мз}}$ «мертвая зона». С точки зрения минимизации величины «мертвой зоны» $L_{\text{мз}}$, перспективнее видится сдвиг траектории движения бича вверх (рис. 2). Тем самым при минимальной «мертвой зоне» стеблей можно существенно уменьшить их угол изгиба. При этом максимальное значение угла изгиба стебля льна будет соответствовать точке P , в которой линия стеблей льна будет располагаться по касательной к траектории движения бича.

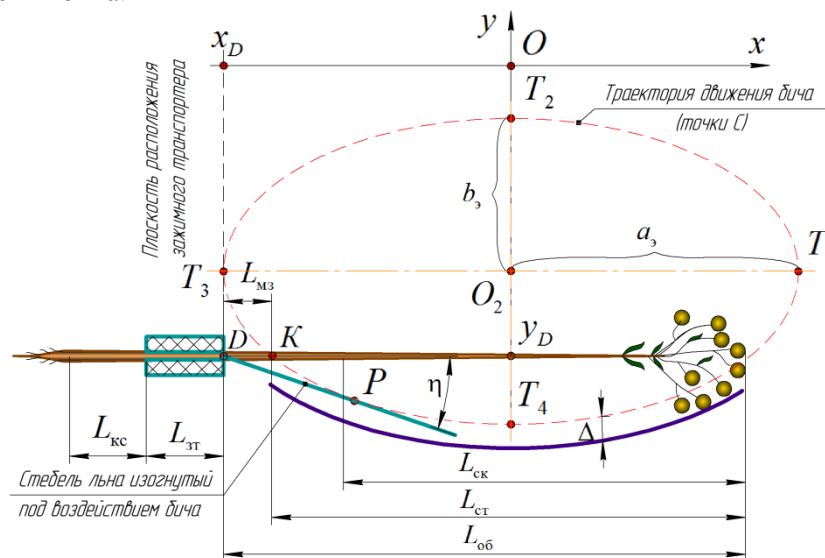


Рис. 2. Схема к определению ординаты точки D и величины «мертвой зоны» – DK

На основании изложенного можно сделать вывод о том, что располагать траекторию движения бича необходимо выше линии стеблей льна, зажатых транспортером, таким образом, чтобы угол изгиба η не превышал своего предельного значения ($\eta_{\text{пред}} = 30 \dots 43^\circ$). В тоже время величина «мертвой зоны» не должна превышать 0,15 м (значение величины $L_{\text{мз}} = 0,08 \dots 0,15$ м) [5].

Установка зажимного транспортера по отношению к механизму обмолачивающего устройства (рис. 2) характеризуется координатами точки $D(x_D, y_D)$, где x_D и y_D – соответствующие проекции точки D на декартовую систему координат, центр которой находится в точке O , являющийся центром вращения кривошипа. Заметим, что положение точки D непосредственно связано с траекторией движения точки C (крайней точки положения шатуна) (рис. 1), которая описывается системой [9].

$$C: \begin{cases} x_C(t) = \frac{(l+l_1) \cdot x_A(t) - l_1 \cdot x_B(t)}{l}, \\ y_C(t) = \frac{(l+l_1) \cdot y_A(t) - l_1 \cdot y_B(t)}{l}. \end{cases} \quad (1)$$

где l – длина участка шатуна AB , м; l_1 – длина участка шатуна AC , м; t – время, с.

Выделим на этой траектории, представляющей эллипс, характеризующие ее точки T_1, T_2, T_3 и T_4 , являющиеся вершинами эллипса, а также определим координаты центра эллипса O_2 .

Угол поворота кривошипа φ рад, в зависимости от времени, определяется выражением [9]:

$$\varphi = \omega t, \quad (2)$$

где ω – угловая скорость вращения кривошипа OA , рад/с.

Согласно формуле (2), можно определить время, за которое кривошип, движущийся с постоянной угловой скоростью ω , делает один полный оборот и при этом точка C совершает один цикл движения.

$$t_k = \frac{2\pi}{\omega}.$$

Тогда вершины траектории движения точки C определяются из (1) как $T_1(x_C(0); y_C(0))$, $T_2(x_C(t_k/4); y_C(t_k/4))$, $T_3(x_C(t_k/2); y_C(t_k/2))$, $T_4(x_C(3t_k/4); y_C(3t_k/4))$, а центр эллипса будет определяться координатами $O_2(0; (y_C(t_k/4) + y_C(3t_k/4))/2)$ (рис. 2).

С учетом вышесказанного траектория движения точки C с привязкой к системе координат xOy может быть описана уравнением:

$$\frac{x^2}{a_3^2} + \frac{(y - y_{O_2})^2}{b_3^2} = 1, \quad (3)$$

где $a_3 = x_C(0)$ – большая полуось эллипса, м;

$$b_3 = \frac{y_C\left(\frac{t_k}{4}\right) - y_C\left(\frac{3 \cdot t_k}{4}\right)}{2} \text{ – меньшая полуось эллипса, м;}$$

$$y_{O_2} = \frac{y_C\left(\frac{t_k}{4}\right) + y_C\left(\frac{3 \cdot t_k}{4}\right)}{2} \text{ – ордината центра эллипса.}$$

С учетом вышесказанного и для минимизации «мертвой зоны» стеблей при их контакте с эластичным рабочим органом абсциссу точки D целесообразно зафиксировать на значении, равном $x_D = x_C(t_k/2)$. При этом ордината этой точки не должна быть выше ординаты точки O_2 , т. е.

$$y_D \leq y_{O_2}. \quad (4)$$

Возможные значения ординаты точки D и величину «мертвой зоны» – DK определим из схемы (рис. 2).

Примем во внимание условие, что угол изгиба η стеблей в ленте зажимного транспортера при воздействии на них эластичного рабочего органа не должен превышать 30° – 43° .

Из рис. 2 видно, что прямая DP является касательной к траектории движения точки C на участке T_3T_1 . Это означает, что угловой коэффициент прямой DP определяется, как

$$k_{DP} = \operatorname{tg}(\eta), \quad (5)$$

а с другой стороны

$$\operatorname{tg}(\eta) = \frac{y_C'(t)}{x_C'(t)}. \quad (6)$$

Решив уравнение (6) относительно времени t получим момент времени t_P , при котором точка C траектории движения перейдет в точку контакта P со стеблями. Тогда координаты точки P можно определить выражениями:

$$x_P = x_C(t_P), \quad y_P = y_C(t_P). \quad (7)$$

Составим уравнение прямой DP :

$$\frac{x - x_D}{x_P - x_D} = \frac{y - y_D}{y_P - y_D}. \quad (8)$$

Чтобы определить угловой коэффициент этой прямой выразим из (8) переменную y

$$y = \frac{y_P - y_D}{x_P - x_D} \cdot (x - x_D) + y_D, \quad (9)$$

где $k_{DP} = \frac{y_P - y_D}{x_P - x_D} = \operatorname{tg}(\eta)$.

Тогда ордината точки D определяется выражением:

$$y_D = \operatorname{tg}(\eta) \cdot (x_P - x_D) + y_P. \quad (10)$$

Для определения «мертвой зоны» стеблей, т. е. длины отрезка DK , определим момент времени t_{DK} при котором точка C переходит в точку K из уравнения:

$$y_C(t) - y_D = 0. \quad (11)$$

Тогда общая точка K будет равна:

$$x_K = x_C(t_{DK}), \quad (12)$$

а величина «мертвой зоны» стеблей будет определяться формулой:

$$L_{мз} = x_K - x_D. \quad (13)$$

Так как эластичный рабочий орган взаимодействует со стеблями на промежутке времени $[t_{DK}; t_K]$, то можем определить длину этого участка KT_1 по следующей зависимости:

$$l_{вз} = \int_{t_{DK}}^{t_K} \sqrt{(x'_c(t))^2 + (y'_c(t))^2} dt. \quad (14)$$

При этом сепарирующую решетку (деку) целесообразно принять по форме такой же, как конфигурация траектории движения точки C на участке от K до T_1 , сместив деку от этой траектории движения на величину молотильного зазора Δ , а длина ее должна быть больше участка ленты стеблей льна $L_{ст}$.

Продемонстрируем пример расчета параметров установки зажимного транспортера и деки в математическом пакете MathCad, при фиксированных значениях длины кривошипа ($R = 0,3$ м), длины шагуна ($l + l_1 = 0,808 + 0,4 = 1,208$ м), длины коромысла ($R_l = 0,95$ м), горизонтальное смещение точки крепления коромысла R_l относительно центра вращения кривошипа ($a = 0,95$ м), вертикальное смещение точки крепления коромысла R_l относительно центра вращения кривошипа ($b = 0,75$ м). Предположим, что частота вращения кривошипа OA $n = 3$ об/с, а предельное значение угла изгиба стеблей льна $\eta_{пред} = 30^\circ$.

Вариант оформления исходных данных и расчетной части в математическом пакете MathCad показан на рис. 2.

Расчет величины мертвой зоны и длины участка стеблей взаимодействующего с бичом

частота вращения кривошипа OA $n := 3$
 предельный угол изгиба стеблей льна $\eta := 30$
 $\omega := n \cdot 2 \cdot \pi = 18.85$ $tk := \frac{2\pi}{\omega} = 0.333$ $t := 0,0002..tk$

$t := \frac{tk}{2} - \tan\left(\frac{\eta \cdot \pi}{180}\right) = -0.577$ угол изгиба стеблей
 Найдём момент времени tP

$j(t) := \frac{\frac{d}{dt}yC(t)}{\frac{d}{dt}xC(t)} + \tan\left(\frac{\eta \cdot \pi}{180}\right)$ $tP := \text{root}(j(t), t) = 0.217$ момент времени tP
 Найдём координаты точки P

$xP := xC(tP) = -0.274$ $yP := yC(tP) = -0.631$ координаты точки P
 Найдём координаты точки D

$xD := xC\left(\frac{tk}{2}\right) = -0.449$ $yD := \tan\left(\frac{\eta \cdot \pi}{180}\right) \cdot \left(xP - xC\left(\frac{tk}{2}\right)\right) + yP = -0.53$ координаты точки D
 Найдём координаты точки K

$tDK := \text{root}(yC(t) - yD, t) = 0.195$ момент времени tDK
 $xK := xC(tDK) = -0.391$ $yK := yC(tDK) = -0.53$ координаты точки K
 Определим величину "мертвой зоны" стеблей

$L_{мз} := xK - xD = 0.0575$ величина "мертвой зоны" стеблей
 Определим длину участка стеблей, взаимодействующих с бичом

$$l_{вз} := \int_{tDK}^{tk} \sqrt{\left(\frac{d}{dt}xC(t)\right)^2 + \left(\frac{d}{dt}yC(t)\right)^2} dt = 1.049$$

Рис. 3. Исходные данные и расчетная часть определения величины «мертвой зоны» и длины участка стеблей взаимодействующего с бичом

Полученное в результате расчета значение минимальной величины «мертвой зоны» $L_{мз} = 0,058$ м не учитывает особенностей исполнения зажимного транспортера, и в целях обеспечения свободного движения бича, может быть увеличено на величину технологического зазора. Расчетное значение максимальной величины длины участка стеблей, взаимодействующего с бичом, составит 1,049 м, что существенно превысит участок ленты стеблей находящегося в зоне обмолота $L_{ст}$ и обеспечит эффективную работу обмолачивающего устройства.

Заключение

Получены аналитические зависимости, позволяющие определить параметры взаимного расположения рабочих органов разработанного обмолачивающего устройства с учетом конструктивных параметров рычажного механизма и технологических параметров процесса обмолота. Определена геометрическая форма сепарирующей решетки (деки), которая должна повторять конфигурацию траектории движения точки C на участке от K до T_1 , сместив деку вниз от этой траектории движения на величину молотильного зазора Δ .

По результатам проведенных расчетов установлено, что условию минимального значения величины «мертвой зоны» $L_{мз} = 0,058$ м и предельного значения угла изгиба стеблей льна $\eta_{пред} = 30^\circ$ удовлетворяют:

– установка зажимного транспортера (точка D) вниз относительно оси вращения кривошипа OA на величину $y_D = 0,53$ м, с горизонтальным смещением влево на величину $x_D = 0,449$ м;

– установка ближней к зажимному транспортеру части сепарирующей решетки (деки) вниз относительно оси вращения кривошипа OA на величину $y_K + \Delta = 0,53 + \Delta$ м, а горизонтальное смещение влево – $x_K = 0,391$ м без учета технологического зазора предусматривающего свободное движение бича.

ЛИТЕРАТУРА

1. 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 Нацыянальнай акадэміі навук Беларусі. Серыя аграрных навук. – 2015. – № 3. – С. 112–117.
2. 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.
3. 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.
4. Курзенков, С. В. Методика расчета параметров слоя стеблей льна в зоне обмолота / С. В. Курзенков, В. А. Левчук, М. В. Цайц // Вестник Белорусской государственной сельскохозяйственной академии. – 2022. – № 1. – С. 154-159.
5. Курзенков, С. В. Обоснование скорости зажимного транспортера обмолачивающего устройства линии первичной переработки льна / С. В. Курзенков, В. А. Левчук, М. В. Цайц // Агропанорама. – 2022. – № 1(149). – С. 14–19.
6. ГОСТ 33734-2016. Межгосударственный стандарт. Техника сельскохозяйственная. Комбайны и машины для уборки льна. Методы испытаний. – М.: Стандартинформ, 2017. – 73 с.
7. Основы расчета рабочих органов машин и оборудования для производства семян льна / В. А. Шаршунов, В. Е. Круглень, А. Н. Кудрявцев [и др.]. – Горки: Белорусская государственная сельскохозяйственная академия, 2016. – 156 с.
8. Ковалев, М. М. Технологии и машины для комбинированной уборки льна долгунца: Дис. ... док. техн. наук. – Тверь. 2010. – 615 с.
9. Шаршунов, В. А. Уравнения траектории движения рабочего органа обмолачивающего устройства колебательного типа линии первичной переработки льна «Van Dommelle» / В. А. Шаршунов, А. С. Алексеенко, С. В. Курзенков, В. А. Левчук, М. В. Цайц // Вестник Белорусской государственной сельскохозяйственной академии. – 2017. – № 4. – С. 164–168.