

МЕТОДИКА РАСЧЕТА ПАРАМЕТРОВ СЛОЯ СТЕБЛЕЙ ЛЬНА В ЗОНЕ 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)

От уровня совершенства процесса отделения семенной части от стеблей льна-долгунца 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 параметры слоя стеблей льна, находящегося в зоне воздействия обмолачивающего устройства с эластичным рабочим органом модернизированной линии первичной переработки льна. Установлена связь параметров слоя стеблей льна находящегося в зажимном транспортере обмолачивающего устройства с агробиологическими и морфологическими их характеристиками. Приведен пример реализации методики в математическом пакете MathCad, позволяющий моделировать различные ситуации состояния слоя материала в зоне обмолота в зависимости от количества стеблей на единицу длины ленты, их конусности, диаметра комлевой части, а также длины участка стебля льна, подверженного воздействию эластичного рабочего органа.

Аналитические зависимости, рассмотренные в данной статье, войдут в основу методики расчета предлагаемого эластичного рабочего органа и моделирования его работы.

Ключевые слова: лен, обмолачивающее устройство, коробочки льна, лента стеблей льна, зона обмолота, объем материала, конусность стебля.

From the level of perfection of the process of separating the seed part from the stalks of fiber flax, 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 depend.

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, when 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 you to determine the parameters of the layer of flax stalks located in the zone of influence of a threshing device with an elastic working body of a modernized flax primary processing line. The relationship between the parameters of the layer of flax stalks located in the clamping conveyor of the threshing device and their agrobiological and morphological characteristics has been established. An example of the implementation of the technique in the MathCad mathematical package is given, which allows modeling various situations of the state of the material layer in the threshing zone, depending on the number of stems per unit of tape length, their taper, the diameter of the butt, as well as the length of the section of the flax stem subjected to influence of the elastic working body.

The analytical dependencies considered in this article will form the basis of the method for calculating the proposed elastic working body and modeling its operation.

Key words: flax, threshing device, flax bolls, flax stems strip, threshing area, material volume, stem taper.

Введение

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 [1].

По заводской технологии уборки и первичной переработки льна-долгунца обмолот (очес) коробочек со стеблей льна осуществляется в линиях первичной переработки льна Van Dommele или Depoortere [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 верхушечной частью ленты льна находящейся в рабочем (молотильном) зазоре (между сепарирующей решеткой и эластичным зубчатым бичом) [5, 6, 7, 8].

С целью изучения характера взаимодействия рабочего органа с обрабатываемым материалом необходимо определить параметры слоя стеблей льна в зоне обмолота.

Основная часть

В процессе отделения 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. Размер рабочей зоны взаимодействия бича со стеблями льна по их поверхности зависит от ширины эластичного рабочего органа, конструктивных параметров его привода, геометрии и жесткости дека.

Лента льна при обмолоте удерживается зажимным транспортером на участке $L_{зт}$ (рис. 1, а) на расстоянии $L_{кс}$ от корней. На участке $L_{ст}$ происходит воздействие рабочего органа (бича) при обмолоте, а между участками $L_{зт}$ и $L_{ст}$ образуется участок $L_{мз}$ «мертвая зона». Участок ленты льна $L_{ст}$ содержит в себе семенные коробочки которые необходимо отделить от стеблей или разрушить обмолачивающим устройством. Для эффективной работы обмолачивающего устройства участок $L_{ст}$ должен быть больше зоны расположения семенных коробочек в ленте стеблей льна.

Движущийся в зажимном транспортере слой стеблей неоднороден. Согласно агробиологическим и морфологическим характеристикам льна-долгунца, стебли у его комлевой части в 2–4,5 раза толще, чем у верхушечной его части. В связи с этим лента льна имеет конусность по длине стеблей, сходящуюся к верхушечной части. При этом толщина слоя стеблей h_k в точке начала взаимодействия бича с лентой льна M_1 больше, чем толщина ленты льна в ее верхушечной части h_b (рис. 1).

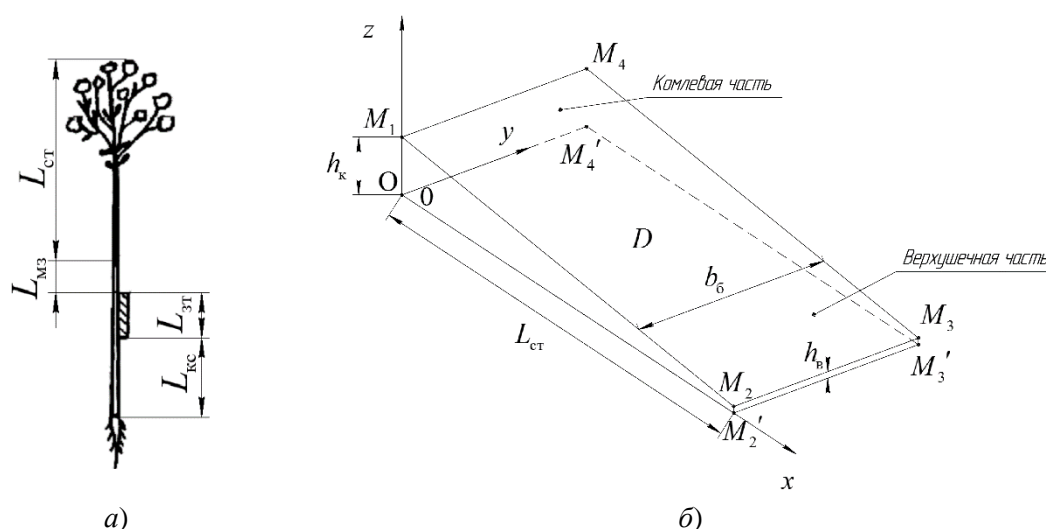


Рис. 1. Схема к обоснованию параметров слоя стеблей льна в зоне обмолота:
 а – воздействие рабочих органов на стебли льна-долгунца при обмолоте; б – фрагмент рабочей зоны материала, взаимодействующий с бичом; $L_{кс}$ – комлевая часть стебля; $L_{зт}$ – участок стебля в зажимном транспортере; $L_{мз}$ – участок стебля льна между участками $L_{зт}$ и $L_{ст}$ («мертвая зона»); $L_{ст}$ – участок стебля подверженный воздействию рабочего органа (бича) при обмолоте

Выделим на ленте стеблей участок, который будет находиться под воздействием эластичного бича шириной b_6 . При этом будем предполагать, что зажимной транспортер движется с постоянной скоростью ($v_t = \omega \cdot R$), а бич совершает свое воздействие на стебли с частотой n_6 и периодом взаимодействия T_6 (время взаимодействия с лентой льна).

Определим площадь и объем материала, которые будут находиться под периодическим воздействием эластичного рабочего органа. Для этого рассмотрим слой стеблей шириной равной b_6 , длиной, равной $L_{ст}$ (расстояние от точки зажима стеблей до их верхушечной части), толщиной у комлевой части h_k , а у верхушечной части – h_b , с привязкой к системе координат $Oxuz$ (рис. 1).

Тогда искомая площадь будет представлять собой площадь прямоугольника $M_1M_2M_3M_4$, а объем будет соответствовать объему фигуры $OM_2'M_3'M_4'M_1M_2M_3M_4$, где $O(0;0;0)$; $M_1(0;0; h_k)$; $M_2(L_{ст};0; h_b)$; $M_3(L_{ст}; b_6; h_b)$; $M_4(0; b_6; h_k)$; $M_2'(L_{ст};0;0)$; $M_3'(L_{ст}; b_6;0)$; $M_4'(0; b_6;0)$.

Площадь прямоугольника $M_1M_2M_3$ найдем по формуле:

$$S_{\text{п.з.}} = \overline{M_1M_2} \cdot \overline{M_1M_4} = \frac{\overline{M_1M_4(0;b_6;0)}}{\overline{M_1M_2(L_{\text{ст}}-0;0-0;h_{\text{б}}-h_{\text{к}})}} = b_6 \cdot \sqrt{L_{\text{ст}}^2 + (h_{\text{б}} - h_{\text{к}})^2}.$$

Таким образом, площадь зоны материала, находящегося под периодическим воздействием эластичного рабочего органа можно определить по формуле:

$$S_{\text{п.з.}} = b_6 \cdot \sqrt{L_{\text{ст}}^2 + (h_{\text{б}} - h_{\text{к}})^2}. \quad (1)$$

Получим модель этой зоны, т. е. опишем плоскость $M_1M_2M_3M_4$ уравнением. Для этого воспользуемся уравнением плоскости, проходящей через три заданные точки $M_1(x_{M_1}; y_{M_1}; z_{M_1})$; $M_2(x_{M_2}; y_{M_2}; z_{M_2})$; $M_4(x_{M_4}; y_{M_4}; z_{M_4})$:

$$\begin{vmatrix} x - x_{M_1} & y - y_{M_1} & z - z_{M_1} \\ x_{M_2} - x_{M_1} & y_{M_2} - y_{M_1} & z_{M_2} - z_{M_1} \\ x_{M_4} - x_{M_1} & y_{M_4} - y_{M_1} & z_{M_4} - z_{M_1} \end{vmatrix} = 0. \quad (2)$$

В нашем случае, когда $M_1(0;0; h_{\text{к}})$; $M_2(L_{\text{ст}};0; h_{\text{б}})$; $M_4(0; b_6; h_{\text{к}})$ уравнение (2) переписывается в виде:

$$\begin{vmatrix} x & y & z - h_{\text{к}} \\ L_{\text{ст}} & 0 & h_{\text{б}} - h_{\text{к}} \\ 0 & b_6 & 0 \end{vmatrix} = 0. \quad (3)$$

Отдельно вычислим определитель левой части уравнения (3), разложив его по первой строке

$$\begin{aligned} \begin{vmatrix} x & y & z - h_{\text{к}} \\ L_{\text{ст}} & 0 & h_{\text{б}} - h_{\text{к}} \\ 0 & b_6 & 0 \end{vmatrix} &= x \cdot \begin{vmatrix} 0 & h_{\text{б}} - h_{\text{к}} \\ b_6 & 0 \end{vmatrix} - y \cdot \begin{vmatrix} L_{\text{ст}} & h_{\text{б}} - h_{\text{к}} \\ 0 & 0 \end{vmatrix} + (z - h_{\text{к}}) \cdot \begin{vmatrix} L_{\text{ст}} & 0 \\ 0 & b_6 \end{vmatrix} = \\ &= x \cdot (0 - b_6 \cdot (h_{\text{б}} - h_{\text{к}})) + (z - h_{\text{к}}) \cdot (L_{\text{ст}} \cdot b_6 - 0) = -b_6 \cdot (h_{\text{б}} - h_{\text{к}}) \cdot x + \\ &+ L_{\text{ст}} \cdot b_6 \cdot (z - h_{\text{к}}) = b_6 \cdot (h_{\text{б}} - h_{\text{к}}) \cdot x + L_{\text{ст}} \cdot b_6 \cdot (z - h_{\text{к}}) \end{aligned} \quad (4)$$

Тогда математическая модель плоскости взаимодействия верхнего слоя ленты стеблей с бичом описывается уравнением:

$$b_6 \cdot (h_{\text{б}} - h_{\text{к}}) \cdot x + L_{\text{ст}} \cdot b_6 \cdot (z - h_{\text{к}}) = 0. \quad (5)$$

Разделим обе части уравнения (5) на величину b_6 , тогда оно примет вид:

$$(h_{\text{б}} - h_{\text{к}}) \cdot x + L_{\text{ст}} \cdot (z - h_{\text{к}}) = 0. \quad (6)$$

Продемонстрируем пример расчета параметров слоя льна в математическом пакете MathCad.

Предположим, что длина участка стеблей подверженного воздействию рабочего органа $L_{\text{ст}} = 0,45$ м, диаметр комлевой части стебля льна $d_{\text{кст}} = 0,002$ м, среднее статистическое количество стеблей в слое примем $n_{\text{ст}} = 25$ шт, а ширина эластичного рабочего органа $b_6 = 0,4$ м.

Согласно принятым параметрам, толщина слоя стеблей в комлевой части составит $h_{\text{к}} = n_{\text{ст}} \cdot d_{\text{кст}} = 0,05$ м. Конусность стебля льна определим по зависимости полученной М. М. Ковалевым [9] $k = 0,66 \cdot d_{\text{кст}} + 0,0002 = 0,00152$. С учетом конусности и длины стеблей льна, подверженных воздействию рабочего органа, величина диаметра верхушечной части стебля составит

$d_{вст} = d_{кст} - k \cdot L_{ст} = 0,00132$ м. Толщина слоя стеблей в верхушечной части определим как $h_{в} = n_{ст} \cdot d_{вст} = 0,0329$ м.

Площадь зоны материала, находящегося под периодическим воздействием эластичного рабочего органа, согласно (1), составит $S_{р.з.} = b_{б} \cdot \sqrt{L_{ст}^2 + (h_{в} - h_{к})^2} = 0,18013$ м² или $S_{р.з.} = \sqrt{1 + k^2} \cdot L_{ст} \cdot b_{б} = 0,18$ м².

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

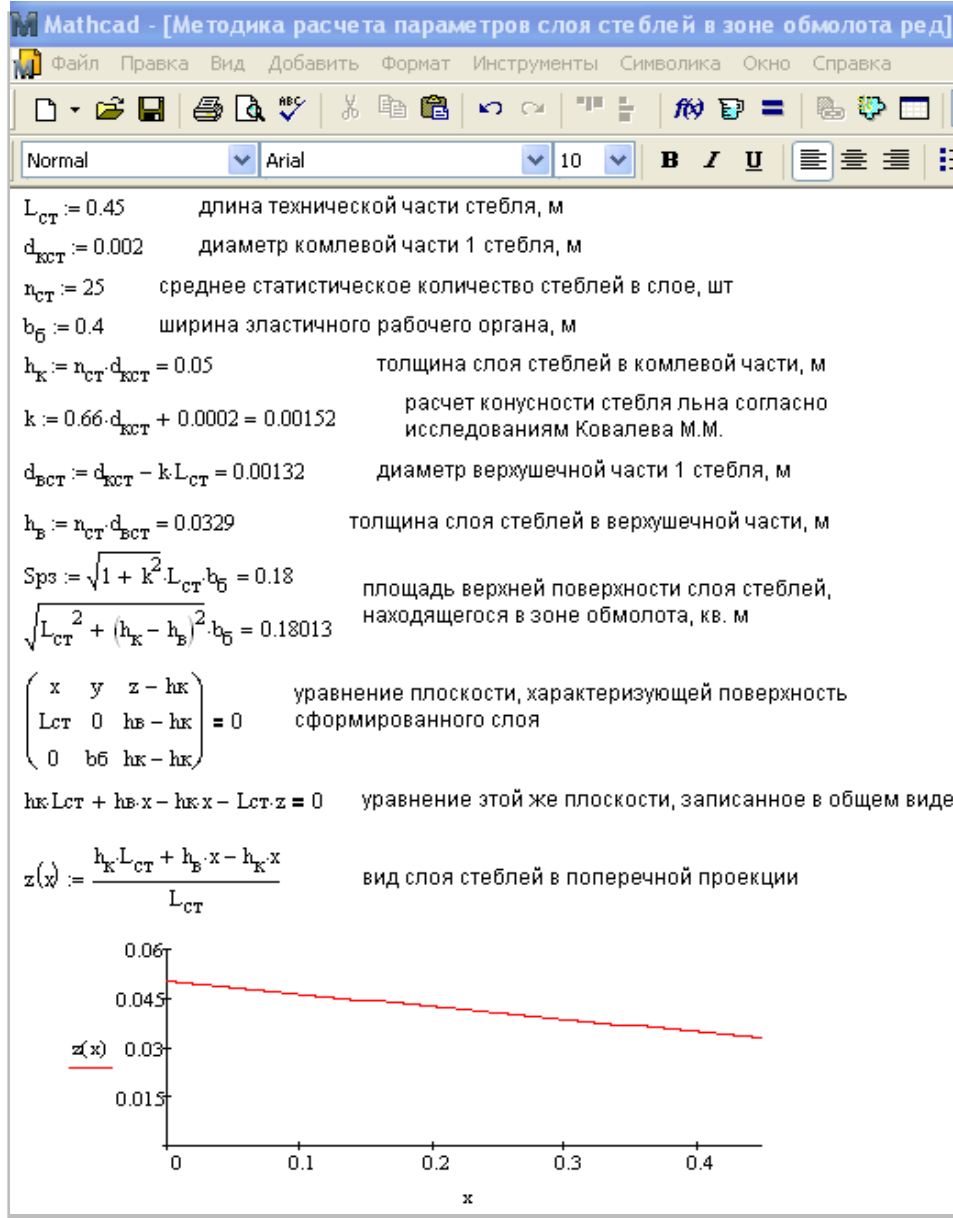


Рис. 2. Исходные данные, расчетная часть и графическое представление поперечного сечения слоя стеблей льна в зоне обмолота реализованная в математическом пакете MathCad

Определим объем рабочей зоны материала, который будет взаимодействовать с эластичным рабочим органом. Известно [10], что

$$V = \iint_D z(x; y) dx dy, \quad (7)$$

где $z(x; y)$ – функция, определяющая поверхность, ограничивающую тело искомого объема сверху; D – замкнутая область, в которую проектируется объемное тело на плоскость xOy .

В рассматриваемом случае тело $OM_2'M_3'M_4'M_1M_2M_3M_4$ ограничивается сверху плоскостью $M_1M_2M_3M_4$, которая описывается уравнением (6) и проецируется на плоскость xOy в прямоугольник $OM_2'M_3'M_4'$. Поэтому чтобы реализовать формулу (7) из формулы (6) выразим переменную z :

$$L_{\text{ст}}(z - h_k) = (h_b - h_k) \cdot x; \quad z = \frac{(h_b - h_k) \cdot x}{L_{\text{ст}}} + h_k \Rightarrow z(x, y) = \frac{h_b - h_k}{L_{\text{ст}}} \cdot x + h_k. \quad (8)$$

Тогда под воздействием эластичного рабочего органа будет находиться объем стеблей:

$$\begin{aligned} V_{\text{п.з.}} &= \int_0^{b_6} dy \cdot \int_0^{L_{\text{ст}}} \left(\frac{h_b - h_k}{L_{\text{ст}}} \cdot x + h_k \right) dx = [y]_0^{b_6} \cdot \left[\frac{h_b - h_k}{L_{\text{ст}}} \cdot \frac{x^2}{2} + h_k \cdot x \right]_0^{L_{\text{ст}}} = \\ &= b_6 \cdot \left(\frac{L_{\text{ст}} \cdot (h_b - h_k)}{2} + h_k \cdot L_{\text{ст}} \right) = \frac{b_6 \cdot L_{\text{ст}} \cdot (h_b + h_k)}{2}. \end{aligned} \quad (9)$$

Продемонстрируем пример расчета объема слоя стеблей льна, находящегося в зоне обмолота, согласно принятым параметрам в математическом пакете MathCad.

Объем материала, находящегося под периодическим воздействием эластичного рабочего органа, согласно (9) составит $V_{\text{п.з.}} = \frac{b_6 \cdot L_{\text{ст}} \cdot (h_b + h_k)}{2} = 0,00746 \text{ м}^3$.

Вариант оформления расчетной части в математическом пакете MathCad показан на рис. 3.

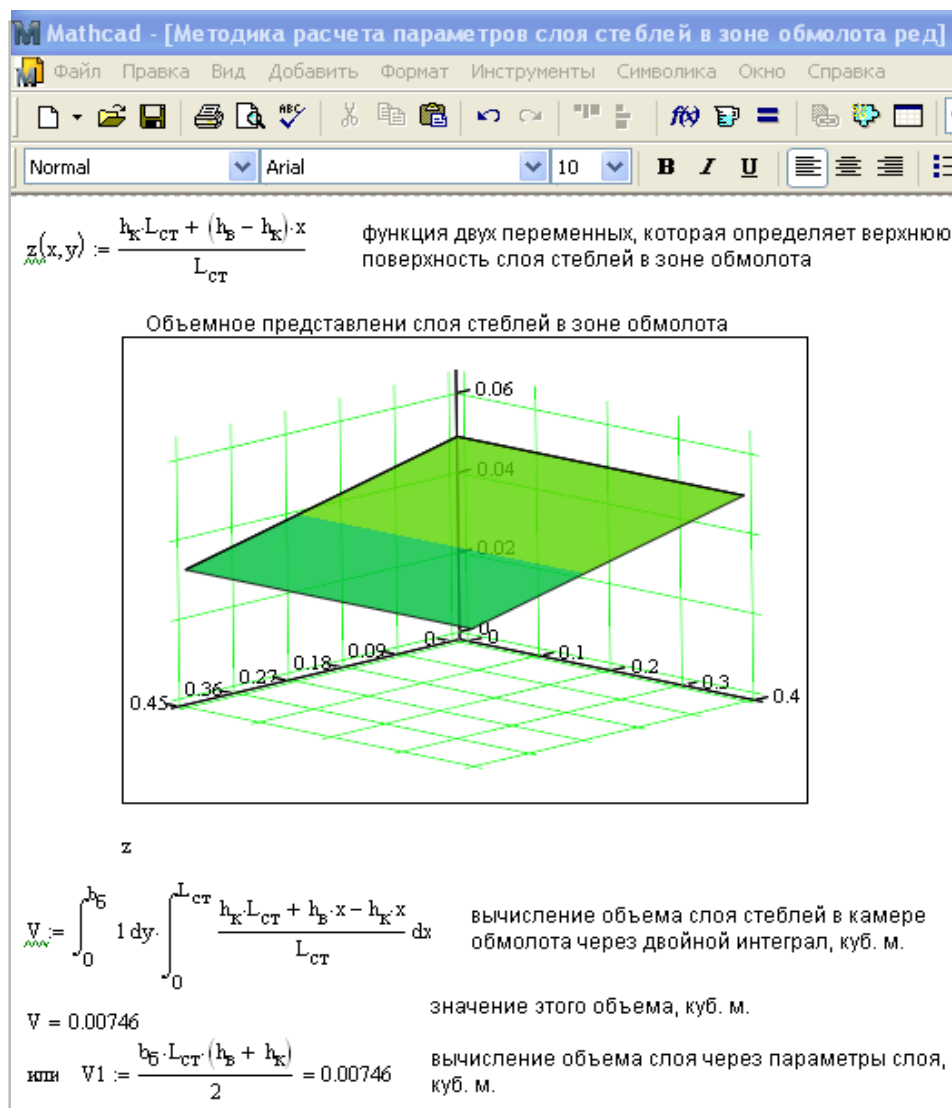


Рис. 3. Расчетная часть и графическое представление объема слоя стеблей в зоне обмолота реализованная в математическом пакете MathCad

Результаты модели (9) позволяют определить объем слоя стеблей в зоне обмолота с учетом ширины эластичного рабочего органа при изменяющихся параметрах слоя стеблей льна, таких как участок стебля льна $L_{ст}$, величины слоя стеблей льна в верхушечной h_v и комлевой h_k частях ленты стеблей льна.

Заключение

Получены аналитические зависимости, позволяющие определять параметры слоя стеблей льна (площадь зоны материала, находящегося под периодическим воздействием эластичного рабочего органа и объем слоя стеблей), находящегося в зоне обмолота разработанного в УО БГСХА обмолачивающего устройства с эластичным рабочим органом в линии первичной переработки льна. Установлено, что параметры слоя определяются количеством стеблей на единицу длины ленты, их конусностью и диаметром комлевой части, а также длиной участка стебля льна, подверженного воздействию эластичного рабочего органа при обмолоте.

Аналитические зависимости, рассмотренные в данной статье, войдут в основу методики расчета предлагаемого эластичного рабочего органа и моделирования его работы.

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. Кругленя, А. С. Алексеенко, В. А. Левчук, М. В. Цайц, 2015 // Весці НАН Беларусі. Сер. аграр. навук. – № 3. – С. 112–117.
5. 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. – № 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. Кругленя, 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. Кругленя, 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 обмолота коробочек льна: пат. 8494 Респ. Беларусь, МПК А01F 11/02 / В. Е. Кругленя, 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. Ковалев, М. М. Технологии и машины для комбинированной уборки льна долгунца: Дис. ... док. техн. наук. – Тверь. 2010. – 615 с.
10. Воднев, В. Т. Основные математические формулы: Справочник / В. Т. Воднев, Н. Ф. Наумович, А. Ф. Наумович; ред. Ю. С. Богданов. - 3-е изд., перераб. и доп. – Минск: Вышэйшая школа, 1995. – 380 с.