

УДК 631.363

## ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ДИАМЕТРОВ И УГЛА УСТАНОВКИ ОЧЕСЫВАЮЩИХ БАРАБАНОВ ДЛЯ ОЧЕСА ЛЕНТ ЛЬНА

А. С. АЛЕКСЕЕНКО, М. В. ЦАЙЦ, В. А. ЛЕВЧУК

УО «Белорусская государственная сельскохозяйственная академия»,  
г. Горки, Могилевская область, Беларусь, 213407, e-mail: baa\_bgd@tut.by

(Поступила в редакцию 10.01.2017)

В статье приведены теоретические исследования процесса очеса лент льна барабанно-планчатым очесывающим устройством, устанавливаемым над теребильным аппаратом и осуществляющим очес при тереблении лент льна, зажатых в теребильных ручьях. Очесывающее устройство состоит из двух цилиндрических, параллельно установленных, планчатых барабанов и кожуха с ворохоотводами. Профиль рабочей поверхности планок имеет волнообразную форму. Очесывающие барабаны установлены над теребильной секцией в горизонтальной плоскости, образуя с теребильным аппаратом острый угол, а оси вращения барабанов расположены параллельно плоскости движения ленты льна. При этом толщина очесываемой одной парой барабанов ленты льна в 4 раза меньше, чем в существующих очесывающих аппаратах, что позволяет повысить качество очеса. Наличие рифленой поверхности планок обеспечит параллелизацию верхушечной части стебля и увеличит длину рабочей поверхности планки взаимодействующей со стеблями льна. Осуществление очеса без проникновения в обрабатываемый материал исключает обрыв стеблей и их выдергивание из теребильных ручьев, получаемый при этом льноворох, будет состоять только из семян и неразрушенных коробочек, что позволит снизить массу льновороха в 2,5-4 раза, а масса и габариты льнокомбайна могут быть уменьшены до 2 раз, при использовании накопительного бункера мелкого льновороха вместо тракторного прицепа. Определены основные конструктивные параметры предлагаемого устройства и приведены математические зависимости для определения длины, диаметров барабанов и угла их установки относительно теребильной секции.

**Ключевые слова:** лен, очесывающее устройство, очесывающие планки, теребление, ворох льна.

The article presents theoretical studies of the process of combing flax bands with a drum-plank combing device installed above a tearing apparatus and carrying out combing while tearing flax bands clamped in tearing streams. The combing device consists of two cylindrical, parallel installed, plank drums and a casing with vents. The profile of the working surface of planks has a wavy form. Combing drums are installed above the tearing section in a horizontal plane forming an acute angle with the tearing apparatus, and the axes of rotation of the drums are parallel to the plane of movement of the flax band. At the same time, the thickness of a flax band combed by one pair of drums is 4 times less than that in existing combing devices, which allows improving the quality of combing. The presence of a ribbed surface of planks will ensure the parallelization of the apical part of the stem and increase the length of the working surface of the plank interacting with flax stems. Combing without penetration into the processed material excludes the breakage of the stems and their pulling out of the tearing streams. Flax heap obtained hereby will consist only of seeds and unbroken boxes, which will reduce the weight of flax heap by 2.5-4 times, and the weight and dimensions of flax combine may be reduced even twice, when using an accumulation hopper for small flax heaps instead of a tractor trailer. We have determined the main design parameters of the proposed device and presented mathematical dependences to determine the length and diameters of drums and the angle of their installation relative to the tearing section.

**Key words:** flax, combing device, combing planks, tearing, flax heap.

### Введение

Лен-долгунец – важнейшая техническая сельскохозяйственная культура Беларуси. Льноволокно и получаемая из него продукция пользуются широким спросом во многих странах мира. Поэтому возделывание льна может служить одним из источников валютных поступлений в республику [1].

Задачи по совершенствованию машин и оборудования и разработка новых для очеса и выделения семян льна, являются актуальными. В связи с этим возникает необходимость исследовать эффективность процесса очеса и выделения семян льна на основе исследования процесса взаимодействия различных типов рабочих органов с льноматериалом, теоретически и экспериментально обосновать рациональные значения основных конструктивных и технологических параметров, обеспечивающих высокую производительность машин без снижения качества обрабатываемого материала.

Для решения этой задачи ведутся работы по созданию новых и совершенствованию существующих машин. Однако разработка высокопроизводительных, надежных, с высокими показателями качества работы машин для условий Республики Беларусь сдерживается отсутствием научно обоснованных конструкторских и технологических решений, на что и направлена эта работа [2, 3].

### Основная часть

На эффективность очеса льна барабанно-планчатым очесывающим устройством [2–6] большое влияние оказывают геометрические параметры барабанов, угол их установки относительно теребильно-зажимной секции, а также перекрытие в зоне очеса.

При работе барабанно-планчатого очесывающего устройства стебли льна подвергаются изгибающему воздействию. Рассмотрим случай, когда происходит максимальный изгиб стеблей обрабатываемой ленты льна (рис. 1). При схождении в зоне очеса планок одного барабана с планками другого, лента льна изгибается по кривой  $CBD$ , а максимальный угол изгиба будет определяться углом  $\beta_{из}$ .

Количество планок одного барабана  $z$  можно определить как:

$$z = \frac{360^\circ}{\gamma_2}, \quad (1)$$

где  $\gamma_2$  – угол образованный серединами соседних планок одного барабана, град.  
Из рисунка 2 видно, что:

$$\gamma_2 = \gamma_1 + 2 \cdot \angle DO_2E, \quad (2)$$

где  $\gamma_1$  – угол между ближайшими вершинами соседних планок одного барабана, град.

Величину угла  $\gamma_1$  определим, рассмотрев прямоугольные треугольники  $DGO_2$  и  $DGB$ . Из прямоугольного треугольника  $DGO_2$  определим  $DG$ :

$$DG = O_2D \cdot \sin(\angle GO_2D). \quad (3)$$

Из прямоугольного треугольника  $DGB$  определим  $DG$ :

$$DG = \frac{GB}{\text{tg}(\angle GDB)}. \quad (4)$$

После преобразования зависимостей (2) и (3), получим:

$$\gamma_1 = 2 \cdot \arcsin\left(\frac{2 \cdot b_u}{D_\delta \cdot \text{tg}(\angle GDB)}\right), \quad (5)$$

где  $b_u$  – величина максимального прогиба стеблей льна, м;  $D_\delta$  – диаметр барабанов описываемый вершинами планок, м.

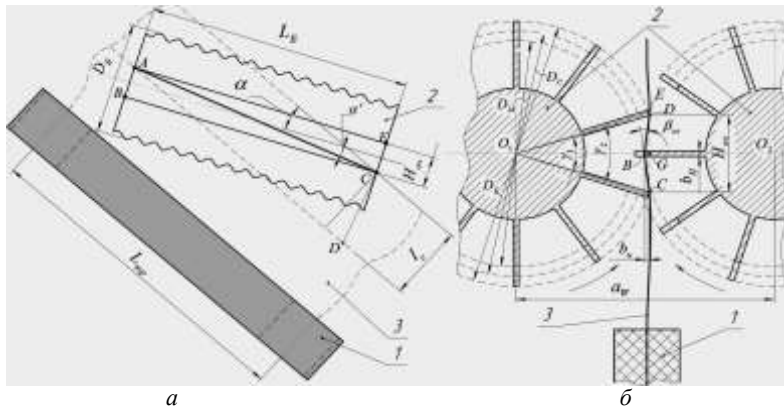


Рис. 1. Схема к определению изгибающего воздействия планок барабанов на стебли льна:  
*a* – вид сбоку; *б* – поперечное сечение очесывающих барабанов;  
*l* – теребильно-зажимная секция; *2* – стебель льна; *3* – планки

Величину угла  $GDB$  определим из треугольника  $BGD$ :

$$\angle GDB = \beta_{из} = \arctg \frac{2 \cdot b_u}{b_\delta}, \quad (6)$$

где  $b_\delta$  – расстояние между ближайшими кромками планок одного барабана, м.

Хайлис Г. А. экспериментально установил, что при расстоянии между опорами  $DC = b_\delta = 10-50$  мм – допустимая величина прогиба без повреждения стеблей  $BG = b_u = 1,1-2,7$  мм [7].

Угол  $EO_2D$  определим из равнобедренного треугольника  $EO_2D$ :

$$\angle DO_2E = 2 \cdot \arcsin \frac{b_n'}{2 \cdot D_\delta}, \quad (7)$$

где  $b_n'$  – ширина планки по сечению перпендикулярному оси барабана, м.

Тогда количество планок на одном барабане с учетом зависимостей (1), (2), (5), (6) и (7), будет равняться:

$$z = \frac{2 \cdot \pi}{\arcsin \frac{b_\delta}{D_\delta} + 2 \cdot \arcsin \frac{b_n'}{2 \cdot D_\delta}}. \quad (8)$$

На рис. 2 представлена графическая зависимость количества планок от ширины поперечного сечения планок и диаметра барабанов. Анализируя графическую зависимость (рис. 2) с учетом конструктивных особенностей установки очесывающих барабанов над теребильно-зажимной секцией, ширина захвата которой 400 мм и оптимальной компоновки смежных пар очесывающих барабанов, диаметр барабана не должен превышать 200 мм, число планок одного барабана не должно превышать 25 шт.

Для определения зависимости межосевого расстояния  $a_w$  от максимальной величины изгиба стеблей льна  $\beta_{из}$ , рассмотрим прямоугольный треугольник  $O_2DG$ .

Межосевое расстояние  $O_2O_1$  можно выразить как  $O_2G + GO_1$ . Учитывая, что диаметры барабанов равны между собой, то  $O_2G = GO_1$ . Следовательно:

$$O_2O_1 = a_w = 2 \cdot O_2G. \quad (9)$$

Тогда:

$$O_2G = \frac{D_\sigma}{2} - b_u. \quad (10)$$

Из прямоугольного треугольника  $O_2DG$  найдем:

$$\cos \gamma_1 = \frac{\frac{D_\sigma}{2} - b_u}{\frac{D_\sigma}{2}} = 1 - \frac{b_u}{\frac{D_\sigma}{2}}. \quad (11)$$

Выразив  $\gamma_1$ , получим:

$$\gamma_1 = \arccos \left( 1 - \frac{b_u}{0,5 \cdot D_\sigma} \right) = \arccos \left( 1 - \frac{b_u}{R_\sigma} \right). \quad (12)$$

Следовательно ширина зоны очеса определится по формуле:

$$L = \frac{D_\sigma}{2} \cdot \arctg \left( \frac{b_\sigma}{a_w} \right). \quad (13)$$

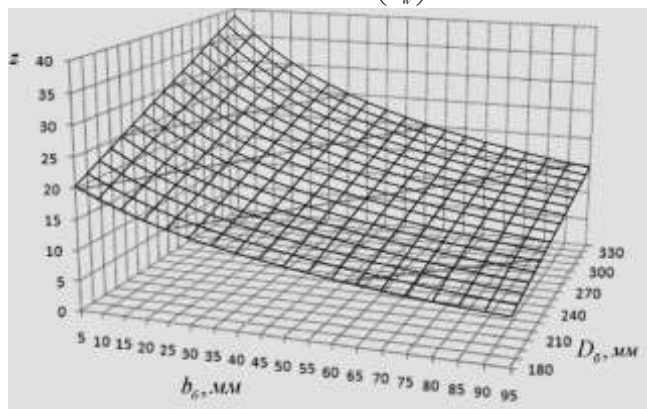


Рис. 2. График зависимости количества планок от ширины поперечного сечения, перпендикулярно оси барабанов, планок и диаметра барабанов описываемого вершинами планок

Для определения длины очесывающих барабанов и угла их установки относительно теребильно-зажимного аппарата изобразим очесывающее устройство (рис. 3, а) и его поперечное сечение (рис. 3, б). В процессе работы очесывающего устройства барабанно-планчатого типа планки смежных барабанов в зоне очеса входят в зацепление и при вращении образуют совмещение двух цилиндров параллельным переносом. Пространство пересечения этих цилиндров образуют зону очеса, боковая проекция которой представлена на рис. 3, а как прямоугольник  $ABCE$ , а диагональ  $AC$  является максимальной длиной очеса. Вход стеблей обрабатываемой ленты льна не ранее точки  $C$ , по ходу движения агрегата, исключает огрехи в работе. Ширину очеса ленты льна  $AC$  планчатыми барабанами (рис. 3, а) можно определить как:

$$AC = \sqrt{BC^2 + AB^2}. \quad (19)$$

Обозначим: отрезок  $AC$  как  $B_{оч}$ ;  $BC$  как  $L_\sigma$  – длина очесывающего барабана, м;  $AB$  как  $H_{оч}$  – длина прочеса, являющаяся хордой, образованной сечением окружности, образованной вращением наиболее удаленной точки планки очесывающего барабана и плоскостью проходящей через ось теребильно-зажимного транспортера, м.

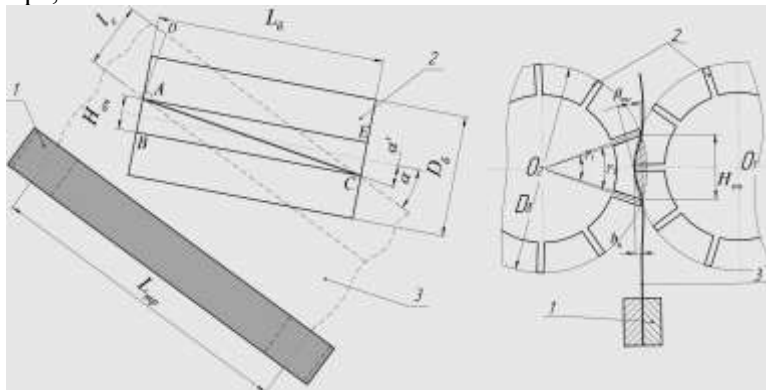


Рис. 3. Схема к определению длины барабанов и угла их установки к теребильно-зажимному транспортеру:  
 а - очесывающее устройство вид сбоку, б – поперечное сечение: 1 – теребильно-зажимная секция,  
 2 – очесывающие барабаны, 3 – обрабатываемая лента льна

Для определения длины прочеса  $H_{оч}$  представим пару очесывающих планчатых барабанов в поперечном сечении схематично (рис. 3, б). Длину прочеса можно определить как:

$$H_{оч} = D_{\delta} \cdot \sin\left(\frac{\gamma_1}{2}\right), \quad (20)$$

где  $\gamma_1$  – угол, образованный отрезками, соединяющими точки пересечения окружностей, образованных планками очесывающих барабанов в зоне очеса, и оси вращения барабанов, град.

Из прямоугольного треугольника  $O_1BC$  найдем отрезок  $O_1C$  соответствующий половине межосевого расстояния  $a_w$ :

$$O_1C = \frac{a_w}{2} = 2 \cdot D_{\delta} \cdot \cos\left(\frac{\gamma_1}{2}\right). \quad (21)$$

Из выражения 21 выразим  $\gamma_1$ :

$$\gamma_1 = 2 \cdot \arccos\left(\frac{a_w}{4 \cdot D_{\delta}}\right). \quad (22)$$

Подставив выражение 22 в 20 получим:

$$H_{оч} = D_{\delta} \cdot \sqrt{1 - \frac{a_w^2}{16 \cdot D_{\delta}^2}}. \quad (23)$$

Анализируя зависимость (рис. 23) с учетом оптимальных диаметров очесывающих барабанов  $D_{\delta} = 180\text{--}200$  мм, можно сделать вывод, что длина прочеса одной планкой очесывающего барабана за один оборот вращения составит 20 мм. Кроме того, приближение значения межосевого расстояния к значению диаметра очесывающего барабана приводит к снижению длины прочеса до 0 мм. Отсюда следует, что отношение межосевого расстояния к диаметру барабана не должно превышать единицы.

Обозначим  $a_w / D_{\delta} = \theta$  – коэффициент перекрытия планок очесывающих барабанов.

Тогда уравнение 23 примет вид:

$$H_{оч} = D_{\delta} \cdot \sqrt{1 - \frac{\theta^2}{16}}. \quad (24)$$

Подставив выражение 24 в 19, получим:

$$B_{оч} = \sqrt{D_{\delta}^2 - \frac{D_{\delta}^2 \cdot \theta^2}{16}} + L_{\delta}^2. \quad (25)$$

Из полученной зависимости видно, что ширина очеса зависит от длины барабанов, их диаметра и коэффициента перекрытия. Учитывая, что при  $H_{оч}=10\text{--}50$  мм, допустимая величина прогиба стеблей льна  $[b_{и}] = 1,1\text{--}2,7$  мм, то при диаметре очесывающих барабанов  $D_{\delta} = 180\text{--}200$  мм, значение коэффициента перекрытия находится в пределах  $\theta = 0,8578\text{--}0,953$ . На рис. 4 представлен график зависимости ширины очеса  $B_{оч}$  от длины барабанов  $L_{\delta}$  и коэффициента перекрытия  $\theta$ .

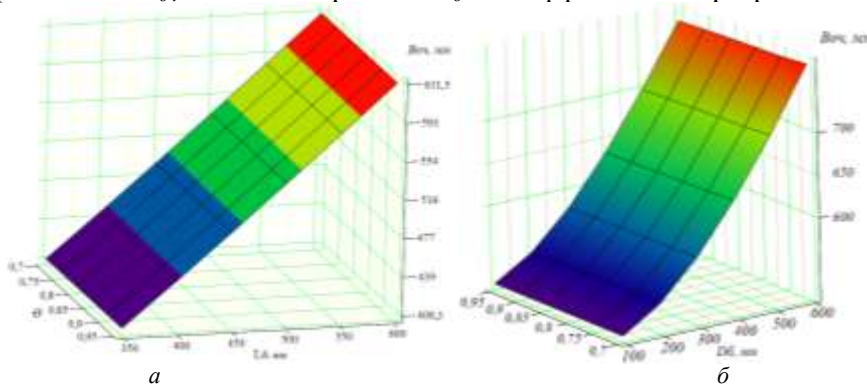


Рис. 4. Графики зависимости: а – ширины очеса  $B_{оч}$  от длины барабанов  $L_{\delta}$  и коэффициента перекрытия  $\theta$ ;  
 б – ширины очеса  $B_{оч}$  от диаметра барабанов  $D_{\delta}$  и коэффициента перекрытия  $\theta$

Анализируя графические зависимости (рис. 4, а и 4, б), можно отметить, что ширина очеса больше длины очесывающих барабанов. Чем выше коэффициент перекрытия, тем больше величина ширины очеса. При расчете ширины очеса, для того чтобы исключить наматывание ленты льна на барабаны, длина очесывающих барабанов должна быть меньше теребильно-зажимной секции.

Длина барабана  $L_{\delta}$  соответствует отрезку  $BC$ . Найдем из прямоугольного треугольника  $ABC$  отрезок  $BC$ :

$$L_{\bar{c}} = B_{oc} \cdot \cos(\alpha'). \quad (26)$$

Длину головчатой части ленты льна найдем из прямоугольного треугольника  $ADF$ , поскольку  $l_c \equiv AF$ :

$$l_c = AD \cdot \cos(\alpha - \alpha'), \quad (27)$$

где  $\alpha'$  – угол, образованный проекцией оси вращения барабана на плоскость, проходящую через ось теребильно-зажимного транспортера, и диагональю  $AC$  прямоугольника, образованного зоной очеса, град.;  $AD$  – перпендикуляр, опущенный из точки  $A$ , на прямую, параллельную теребильно-зажимному транспортеру, проходящую через точку  $C$ , м;  $\alpha$  – угол наклона очесывающего барабана к теребильно-зажимному транспортеру, град.

Из прямоугольного треугольника  $ACD$  найдем  $AD$  как:

$$AD = B_{oc} \cdot \operatorname{tg}(\alpha). \quad (28)$$

Приравняв выражения 27 и 28 и решив относительно  $\alpha'$ , получим:

$$\alpha' = \alpha + \arccos\left(\frac{l_c}{B_{oc} \cdot \operatorname{tg}(\alpha)}\right). \quad (29)$$

Подставив выражение 29 в 19, получим:

$$L_{\bar{c}} = B_{oc} \cdot \cos\left(\alpha + \arccos\left(\frac{l_c}{B_{oc} \cdot \operatorname{tg}(\alpha)}\right)\right). \quad (30)$$

При заданных конструктивных параметрах по полученным теоретическим расчетам и графическим зависимостям определены рациональные значения основных технологических параметров рассматриваемого барабанно-планчатого очесывающего устройства, которые позволят: снизить выход оборванных стеблей льна в ворох на 20–27 %; уменьшить толщину очесываемого слоя в 4 раза и снизить потери коробочек льна на 10–18 % от недоочеса. Отсутствие ударного воздействия на обрабатываемый материал исключает травмирование семян при очесе и разламывании коробочек льна, что в свою очередь обеспечит простоту очистки от семян сорных растений и позволит снизить затраты на досушивание на 10–25 % в зависимости от засоренности посевных площадей.

#### **Заключение**

1. Предложенная конструкция для отделения семенных коробочек от стеблей льна, при использовании комбайновой технологии, позволяет очесывать коробочки в теребильных ручьях барабанно-планчатым очесывающим устройством, установленным над теребильно-зажимной секцией льнокомбайна. При этом толщина очесываемой одной парой барабанов ленты льна в 4 раза меньше, чем в существующих очесывающих аппаратах, что позволяет повысить качество очеса, рифленая поверхность планок обеспечит параллелизацию верхушечной части стебля, получаемый льняной ворох будет состоять только из семян и неразрушенных коробочек, что позволит снизить его массу в 2,5–4 раза, а масса и габариты льнокомбайна могут быть уменьшены до 2 раз при использовании накопительного бункера мелкого льновороха вместо тракторного прицепа.

2. При известных технологических параметрах на возделывание и уборку льна, заданных отраслевым регламентом, получены теоретические зависимости, по которым построены графики, и на их основе определены рациональные значения основных технологических параметров рассматриваемого барабанно-планчатого очесывающего устройства. Длина прочеса одной планкой 10–50 мм, ширина зоны очеса 380–520 мм, коэффициент перекрытия планок очесывающих барабанов 0,858–0,953.

3. Теоретические расчеты конструктивных параметров предлагаемого устройства позволили определить диаметры очесывающих барабанов, которые ограничиваются расстоянием между теребильными секциями. Скорость ленты льна 1,7–2,0 м/с соответствует агротехнической скорости льноуборочного комбайна, а число оборотов барабанов и количество планок на них – количеству воздействий (5–6 раз) планок на стебель льна находящийся в очесывающем зазоре. Это позволит снизить выход оборванных стеблей льна в ворох на 20–27 % и потери коробочек льна на 10–18 % от недоочеса.

Отсутствие ударного воздействия на обрабатываемый материал исключает травмирование семян при очесе и разламывании коробочек льна, что в свою очередь обеспечит качественную очистку льновороха от семян сорных растений и позволит снизить затраты на сушку на 10–25 % в зависимости от засоренности посевных площадей.

#### *ЛИТЕРАТУРА*

1. Исследование обмолачивающего устройства в линии первичной переработки льна / В. А. Шаршунов [и др.] // Весці НАН Беларусі. Сер. аграр. навук. – 2015. – № 3. – С. 112–117.
2. Комбинированная молотилка-сепаратор льновороха: пат. 1387 Респ. Беларусь, МПК А01F 11/02 / В. А. Шаршунов, В. Е. Кругленя, А. Н. Кудрявцев, А. С. Алексеенко, В. И. Коцуба; заявитель В. А. Шаршунов [и др.]. – № u 20030430; заявл. 14.10.03; опубл. 30.06.04 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2004. – № 2(41). – С. 249–250.
3. Механико-технологические основы совершенствования послеуборочной обработки льновороха на семена / В. А. Шаршунов, В. Е. Кругленя, А. Н. Кудрявцев, А. С. Алексеенко, В. И. Коцуба. – Горки: БГСХА, 2012. – 332 с.

4. Петровец, В. Р. Воздействие обмолачивающих барабанов на стебель льна / В. Р. Петровец, Н. В. Чайчиц, Г. А. Райлян // Тракторы и сельскохозяйственные машины. – 2004. – №5.
5. Кругленья, В. Е. Устройства для отделения семенных коробочек от стеблей – очесывающие аппараты / В. Е. Кругленья, В. А. Левчук, М. В. Цайц. Конструирование, использование и надежность машин сельскохозяйственного назначения: сборник научных работ XXVII международной научно-технической конференции. – Брянск.: Издательство Брянской ГАУ, 2015. С. 168–179.
6. Очесывающее устройство: пат. 7947 Респ. Беларусь, МПК А 01F 11/02 (2006.01), С 08 G 2/30 / В. Е. Кругленья, М. В. Цайц, П. Д. Сентюров, А. Д. Сентюров, В. И. Коцуба, А. Н. Кудрявцев; заявитель УО «Белорус. гос. с.-х. акад.». – № u 20110244; заявл. 04.04.11; опубл. 28.02.12 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2012. – № 1(84). – С. 194.
7. Хайлис, Г. А. Механика растительных материалов / Г.А. Хайлис. – Киев: УААН, 1994. – 332 с.