

ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ РАДИУСОВ РОТОРА И ЗАЩИТНОГО КОЛЬЦА РОТОРНОГО БИЛЬНО-ВЫЧЕСЫВАЮЩЕГО УСТРОЙСТВА

В.А. Шаршунов,

*профессор каф. техносферной безопасности и общей физики БГУТ,
докт. техн. наук, профессор, чл.-кор. НАН Беларуси*

А.Н. Карташевич,

*профессор каф. тракторов, автомобилей и машин для природообустройства БГСХА,
докт. техн. наук, профессор*

М.В. Цайц,

ст. преподаватель каф. безопасности жизнедеятельности БГСХА, магистр техн. наук

С.В. Курзенков,

доцент каф. высшей математики и физики БГСХА, канд. техн. наук, доцент

Важным этапом в получении посевного материала является уборка льна. Наиболее распространенный способ уборки льна на семенные цели – однофазная (комбайновая) уборка. К ее существенным недостаткам относят высокую энергоемкость послеуборочной доработки льняного вороха, что связано с наличием большого количества пуганины в нем, потерей семян из-за подсаживания под комбайном, а также повреждение семян и опасность поражения болезнями при несвоевременной переработке.

В целях повышения качества отделения семенной части от стеблей и снижения содержания пуганины в ворохе льна при комбайновой уборке, в Белорусской государственной сельскохозяйственной академии разработано роторное бильно-вычесывающее устройство. Для определения конструктивных параметров предлагаемого устройства проведен теоретический анализ взаимосвязи радиуса ротора и радиуса защитного кольца с учетом зазора между ротором и передней плоскостью зажимного транспортера, а также предельного угла изгиба стеблей льна.

Ключевые слова: лен, обмолачивающее устройство, лента стеблей льна, зажимной транспортер, ротор, бич, относительное удлинение.

An important phase in the production of flax seed material is the process of harvesting. The most common method of harvesting flax for seed is single-phase (combine) harvesting. Among its serious disadvantages are the high energy intensity of post-harvest handling of flax heap, which is caused by the presence of a large amount of leaves and outer casing in it, combine losses, as well as the damage of the seeds and the risk of diseases in case of late processing.

In order to improve the quality of separation of seed part from the stems and to reduce the amount of leaves and outer casing in the flax heap during combine harvesting, a rotary beater-combing device has been developed at the Belarusian State Agricultural Academy. To determine the design parameters of the device a theoretical analysis of the relationship between the radius of the rotor and the radius of the protective ring was carried out, taking into account the gap between the rotor and the front plane of the clamping conveyor, as well as the limiting bending angle of the flax stalks.

Key words: flax, thresher, flax stalk belt, clamping conveyor, rotor, lunging whip, relative elongation.

Введение

Урожайность льнопродукции напрямую зависит от наличия качественного посевного материала [1, 2]. Основные проблемы семеноводства в Республике Беларусь – отсутствие льносеменных станций, нехватка и высокий процент некондиционных семян, использование семян массовых репродукций, что недопустимо, поскольку это приводит к снижению урожайности и

качества льнопродукции. Уборка льна – важный этап в получении посевного материала [2, 3]. Неоднократно доказано, что для получения семян с высокой всхожестью без искусственной сушки семенного вороха, тербление льна и обмолот следует начинать не ранее наступления фазы желтой спелости [1; 4, 5].

При возделывании льна-долгунца используют однофазную (комбайновую) и двухфазную (раздельную) технологии уборки. Двухфазная уборка позво-

ляет получить более качественные семена в сравнении с однофазной, однако она имеет существенную зависимость от погодных условий [6], при этом существует риск недополучения семян. Однофазная технология уборки позволяет гарантированно собрать урожай семян льна, но по сравнению с двухфазной имеет большую энергоёмкость переработки льняного вороха [7], что связано с наличием в нем большого количества путанины. Образование в льняном ворохе путанины связано также с особенностями технологического процесса и применяемого при этом очесывающего аппарата. К сожалению, оба способа уборки являются энергозатратными. В связи с этим производству необходимы менее затратные и надежные технологии получения качественных семян льна-долгунца.

Исследованием свойств стеблей льна при растяжении занимались ученые – Н.М. Чиликин, И.В. Крагельский [8, 9], Г.А. Хайлис [10, 11], Н.Н. Быков [12], М.М. Ибрагим, Г.А. Аверьянова [1]. Исследования отделения семенной части льна от стеблей описаны в работах М.И. Шлыкова [13], Г.А. Хайлиса, Б.П. Можарова, В.Н. Бухаркина [12], П.Ф. Прибыткова [14], П.К. Шрамко [15].

В результате проведенного анализа устройств для отделения семян льна от стеблей [16, 17] была предложена конструктивно-технологическая схема роторного бильно-вычесывающего устройства (рис. 1) [18, 19], отличающегося тем, что оно выполнено в виде диска 2, с одной стороны которого установлены косые бичи 3, а с другой – вычесывающе-транспортирующая щетка 4, что в сочетании с декой обеспечивает комбинированное ударное, вытирающее и вычесывающее воздействие на ленту льна.

Целью данной работы является теоретическое обоснование конструктивных параметров разрабатываемого устройства, исключая излом стеблей льна, а также обеспечивающих технологические параметры процесса обмолота, и определение эмпирического коэффициента удлинения стеблей льна под действием рабочих органов обмолочивающего устройства.

Основная часть

В результате проведенного обоснования рациональной схемы расположения элементов роторного бильно-вычесывающего устройства для отделения семенной части от стеблей льна и его конструктивных параметров была принята схема устройства, обеспечивающего подъем ленты стеблей льна перед вводом их в зону обмолота (рис. 1) [20]. Подъем обеспечивается за счет изгиба ленты относительно плоскости зажатия транспортера на величину предельного угла изгиба стеблей льна $\eta_{\text{пр}}$ (в фазу желтой спелости наименьший $\eta_{\text{пр}} = \psi/2 = 17^\circ$). В процессе работы ротор, воздействуя на стебли льна бичами, изгибает их вниз. Величина изгиба относительно плоскости зажатия транспортера также не должна превышать $\eta_{\text{пр}}$. Данная схема позволит обеспечить и еще один положительный эффект – растягивание слоя ленты льна в молотильном пространстве, т.е. умень-

шение толщины слоя стеблей при их обмолоте и нарушение связей сцепленных между собой семенных коробочек льна.

При такой схеме взаимного расположения рабочих органов устройства положение точки E зажимного транспортера (рис. 1) определяется координатами x_E и y_E .

Абсциссу точки E , т.е. x_E можно определить по формуле

$$x_E = -R - \delta, \quad (1)$$

где R – радиус ротора, м;

δ – технологический зазор между ротором и передней плоскостью зажимного транспортера, м.

С другой стороны, координаты точки $E(x_E, y_E)$ должны удовлетворять уравнениям двух прямых EM_1 (точка M_1 – касательная EM_1 к радиусу защитного кольца) и EM_2 (точка M_2 – касательная EM_2 к радиусу ротора), а значит должны определяться их пересечением. При этом EM_1 описывается уравнением

$$y = (x - x_{M_1}) \cdot \operatorname{tg}(\eta_{\text{пр}}) + y_{M_1}, \quad (2)$$

а EM_2 соответственно

$$y = -(x - x_{M_2}) \cdot \operatorname{tg}(\eta_{\text{пр}}) + y_{M_2}, \quad (3)$$

$$\text{где } x_{M_1} = r \cdot \sin(\eta_{\text{пр}}); \quad (4)$$

$$y_{M_1} = -r \cdot \cos(\eta_{\text{пр}}); \quad (5)$$

$$x_{M_2} = R \cdot \sin(\eta_{\text{пр}}); \quad (6)$$

$$y_{M_2} = -R \cdot \cos(\eta_{\text{пр}}). \quad (7)$$

Тогда, приравняв правые части равенств (2) и (3), получим уравнение

$$\begin{aligned} (x - x_{M_1}) \cdot \operatorname{tg}(\eta_{\text{пр}}) + y_{M_1} &= \\ &= -(x - x_{M_2}) \cdot \operatorname{tg}(\eta_{\text{пр}}) + y_{M_2}, \end{aligned} \quad (8)$$

из которого может быть определено положение точки E зажимного транспортера

$$x_E = \frac{(r - R) \cdot \cos(\eta_{\text{пр}}) + (R + r) \cdot \sin(\eta_{\text{пр}}) \cdot \operatorname{tg}(\eta_{\text{пр}})}{2 \cdot \operatorname{tg}(\eta_{\text{пр}})}, \quad (9)$$

где r – радиус защитного кольца, м

а y_E путем подстановки результата вычисления x_E вместо x в формулу (2) или (3).

Проанализировав формулы (1) и (9), можно сделать вывод о том, что технологический зазор между ротором и передней плоскостью зажимного транспортера δ может быть определен по формуле

$$\begin{aligned} \delta &= -(x_E + R) = -\left[(r - R) \cdot \cos(\eta_{\text{пр}}) + \right. \\ &+ (R + r) \cdot \sin(\eta_{\text{пр}}) \cdot \operatorname{tg}(\eta_{\text{пр}}) \left. \right] \times \\ &\times \left(2 \cdot \operatorname{tg}(\eta_{\text{пр}}) \right)^{-1} + R \end{aligned} \quad (10)$$

и зависит от радиусов защитного кольца и ротора при принятом значении предельного угла изгиба стеблей.

С другой стороны, в работе [12] было показано, что отношение радиуса ротора к радиусу защитного

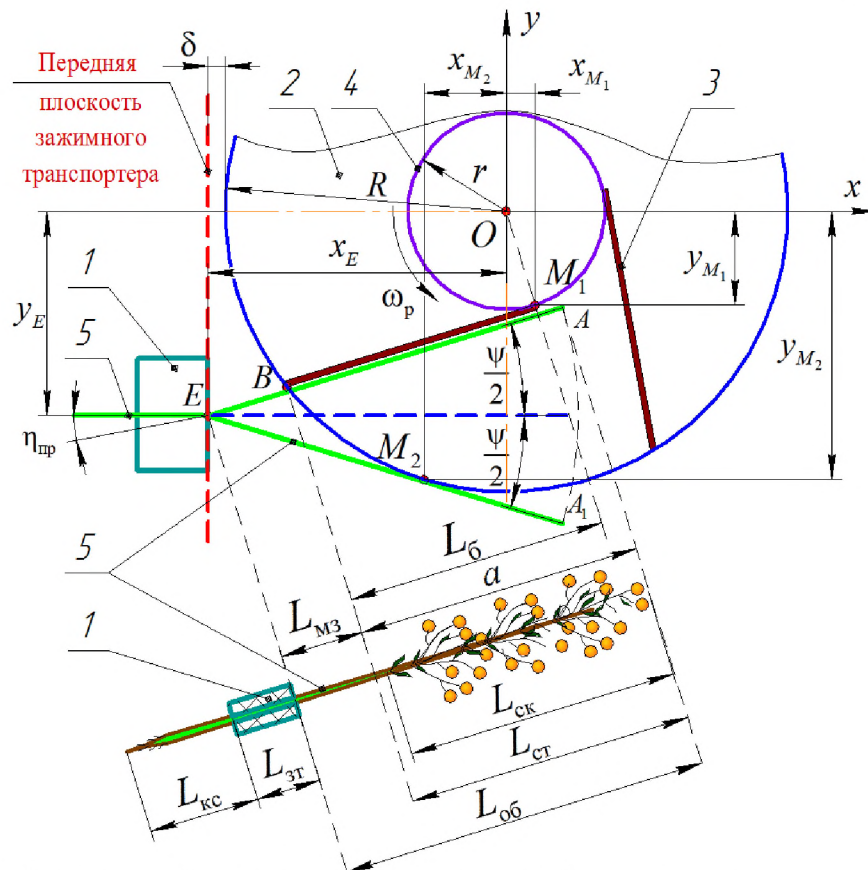


Рисунок 1. Схема к определению параметров роторного бильно-вычесывающего устройства: 1 – зажимной транспортер; 2 – ротор; 3 – бич; 4 – защитное кольцо; 5 – стебли льна; L_{KC} – коллевая часть стебля, M ; $L_{ЗТ}$ – участок стебля в зажимном транспортере, M ; $L_{MЗ}$ – участок стебля льна между участками $L_{ЗТ}$ и $L_{СТ}$ («мертвая» зона), M ; $L_{СТ}$ – участок стебля, подверженный воздействию рабочего органа (бича) при обмолоте, M ; $L_{Об}$ – длина обрабатываемого участка стебля льна, M ; $L_{СК}$ – ширина зоны расположения семенных коробочек в ленте, M ; $L_{б}$ – длина образующей бича, M ; a – ширина активной зоны устройства, M ; R – радиус ротора, M ; r – радиус защитного кольца, M ; ω_p – угловая скорость вращения ротора, c^{-1} ; $\eta_{пр}$ – предельный угол изгиба стеблей льна, $рад$; ψ – угол изгиба стеблей льна рабочими органами обмолачивающего устройства, $рад$; δ – технологический зазор между ротором и передней плоскостью зажимного транспортера, M

кольца для принятой схемы взаимного расположения элементов устройства должно определяться формулой

$$\frac{R}{r} = \frac{|x_E \cdot \operatorname{tg}(\eta_{пр}) + y_E|}{|x_E \cdot \operatorname{tg}(\eta_{пр}) - y_E|}, \quad (11)$$

Это позволяет сделать вывод о том, что безразмерный параметр R/r будет являться параметром подобия обмолачивающих устройств, сконструированных по предлагаемой схеме компоновки оборудования. Если учесть в выражении (11) соотношения (4), (5), (6), (7) и (9), то оно примет вид

$$\frac{R}{r} = \frac{r \cdot \cos(\eta_{пр}) + \operatorname{tg}(\eta_{пр}) \times}{r \cdot \cos(\eta_{пр}) + \operatorname{tg}(\eta_{пр}) \times} \times \frac{(R + \delta + r \cdot \sin(\eta_{пр})) + \operatorname{tg}(\eta_{пр}) \cdot (R + \delta)}{(R + \delta + r \cdot \sin(\eta_{пр})) - \operatorname{tg}(\eta_{пр}) \cdot (R + \delta)}. \quad (12)$$

Выразим из выражения (12) радиус ротора

$$R = (r \cdot \cos(\eta_{пр}) \cdot \operatorname{tg}(\eta_{пр})^2 + 2 \cdot \delta \cdot \operatorname{tg}(\eta_{пр}) + r \cdot \cos(\eta_{пр})) \times (\cos(\eta_{пр}) \cdot \operatorname{tg}(\eta_{пр})^2 - 2 \cdot \operatorname{tg}(\eta_{пр}) + \cos(\eta_{пр}))^{-1}. \quad (13)$$

Поступающая на обмолот лента содержит в верхушечной части растений семенные коробочки (рис. 1). Ширина зоны $L_{СК}$ имеет в стеблестое на корню высоту 0,25–0,45 м, а в ленте льна из-за растянутости и неодинаковой длины растений она составляет 0,35–0,56 м [21].

Отделение семенных коробочек от стеблей осуществляется на участке AB (рис. 1), ширина которого равна a . Длина «мертвой» зоны $L_{MЗ}$ равна расстоянию от передней границы ручья зажимного транспортера

(точка E) до точки B , наиболее удаленной от оси вращения ротора O . Чем больше a и меньше $L_{мз}$, тем полнее будет обмолот, особенно короткостебельного льна. Ширина активной зоны устройства a должна быть больше или равна ширине зоны расположения семенных коробочек в ленте $L_{ск}$, т.е.

$$a \geq L_{ск}. \quad (14)$$

Поскольку ротор 2 с бичами 3 в процессе работы осуществляет вращательное движение вокруг оси ротора O , то при большом значении величины EA , соответствующей длине обрабатываемого участка стебля льна $L_{об}$, стебель может наматываться на защитное кольцо 4, что приведет к нарушению технологического процесса. Условие не наматывания можно записать как

$$(\delta + R + r \cdot \sin(\eta_{пр})) \cdot \cos(\eta_{пр}) + 2 \cdot \pi \cdot r \geq L_{об} \cdot \kappa, \quad (15)$$

где $L_{об}$ – длина стебля льна от места зажима до вершины, м;

κ – коэффициент, учитывающий удлинение стеблей в ленте льна.

Неравенство (15) с учетом (13) примет вид

$$\begin{aligned} & \left[\delta + \left(r \cdot \cos(\eta_{пр}) \cdot \operatorname{tg}(\eta_{пр})^2 + \right. \right. \\ & + 2 \cdot \delta \cdot \operatorname{tg}(\eta_{пр}) + r \cdot \cos(\eta_{пр}) \left. \right) \times \\ & \times \left(\cos(\eta_{пр}) \cdot \operatorname{tg}(\eta_{пр})^2 - 2 \cdot \operatorname{tg}(\eta_{пр}) + \right. \\ & \left. \left. + \cos(\eta_{пр}) \right)^{-1} + r \cdot \sin(\eta_{пр}) \right] \times \\ & \times \cos(\eta_{пр}) + 2 \cdot \pi \cdot r \geq L_{об} \cdot \kappa \end{aligned} \quad (16)$$

Для некоторого граничного значения длины обрабатываемого участка стебля льна $L_{об}$ неравенство (16) запишем в виде

$$\begin{aligned} & \left[\delta + \left(r \cdot \cos(\eta_{пр}) \cdot \operatorname{tg}(\eta_{пр})^2 + \right. \right. \\ & + 2 \cdot \delta \cdot \operatorname{tg}(\eta_{пр}) + r \cdot \cos(\eta_{пр}) \left. \right) \times \\ & \times \left(\cos(\eta_{пр}) \cdot \operatorname{tg}(\eta_{пр})^2 - 2 \cdot \operatorname{tg}(\eta_{пр}) + \right. \\ & \left. \left. + \cos(\eta_{пр}) \right)^{-1} + r \cdot \sin(\eta_{пр}) \right] \times \\ & \times \cos(\eta_{пр}) + 2 \cdot \pi \cdot r = L_{об} \cdot \kappa \end{aligned} \quad (17)$$

и решим относительно радиуса защитного кольца r

$$\begin{aligned} r = & (L_{об} \cdot \kappa - \cos(\eta_{пр}) \times (\delta + \\ & + (2 \cdot \delta \cdot \operatorname{tg}(\eta_{пр})) \times (\cos(\eta_{пр}) \cdot \operatorname{tg}(\eta_{пр})^2 - \\ & - 2 \cdot \operatorname{tg}(\eta_{пр}) + \cos(\eta_{пр}))^{-1}) / - (2 \cdot \pi + \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & + \cos(\eta_{пр}) \times (\sin(\eta_{пр}) + \\ & + (\cos(\eta_{пр}) \cdot \operatorname{tg}(\eta_{пр})^2 + \cos(\eta_{пр})) \times \\ & \times (\cos(\eta_{пр}) \cdot \operatorname{tg}(\eta_{пр})^2 - 2 \cdot \operatorname{tg}(\eta_{пр}) + \\ & + \cos(\eta_{пр}))^{-1})). \end{aligned} \quad (18)$$

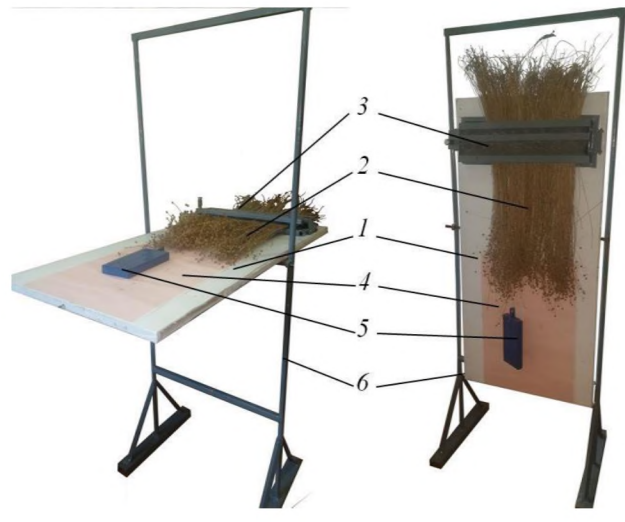
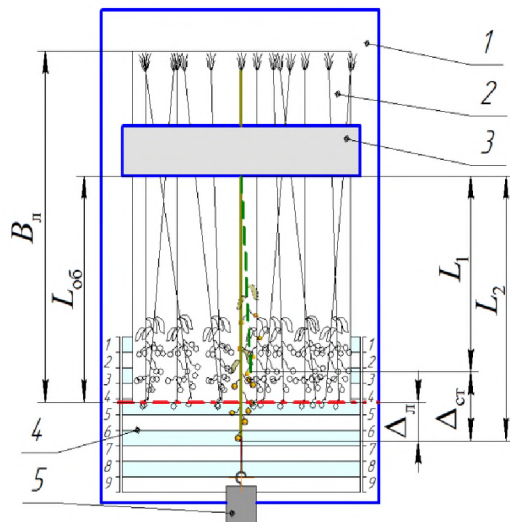
Выражение (18) позволяет определить наименьшее значение радиуса защитного кольца. Для определения минимального значения радиуса защитного кольца для принятой схемы взаимного расположения элементов устройства, обеспечивающего деление угла ψ пополам ($\eta_{пр} = \psi/2$), необходимо установить значение эмпирического коэффициента κ и уточнить параметр δ .

Приведенный в выражении (15) коэффициент κ учитывает возможное увеличение участка стеблей, находящегося в зоне обмолота $L_{об}$, за счет возникающих во время работы устройства сил, действующих на стебли льна в направлении оси Ox . С целью определения параметров κ и Δ_l была изготовлена лабораторная установка, схема и общий вид которой представлены на рисунке 2.

Установка представляет собой сплошную плиту 1, на которой жестко закреплено зажимное устройство 3, имитирующее зажимной транспортер, в которое укладывалась лента льна 2. В нижней части плиты имеется линейная шкала 4. Плита устанавливалась в раму вертикальной конструкции шарнирно, с возможностью поворота на 90° . В качестве растягивающей силы использовался груз 5 массой, исключающей обрыв стебля.

Опыты проводили следующим образом. На расположенную горизонтально плиту 1 в зажимное устройство 3 укладывался и фиксировался отрезок ленты льна 2 длиной 0,5 м, полученный при работе теребильного аппарата льноуборочного комбайна «Двина 4М». Укладка отрезка ленты льна в зажимное устройство проводилась на расстоянии 1/3 от комлевой части ленты. За верхнюю часть стебля, ниже соцветия, закрепляли с помощью зажима груз таким образом, чтобы зажатие было надежным, но без существенного повреждения растения. С помощью шкалы 4 фиксировалось начальное положение верхушки стебля, а затем плита плавно переводилась в вертикальное положение. Стебель под действием груза вытягивался, после чего фиксировалось значение длины стебля в вытянутом состоянии. Разница между верхушкой вытянутого стебля и верхушками стеблей в ленте соответствовала удлинению Δ_l . Испытанию подвергалась лента стеблей льна шириной $B_l = 0,69; 0,82; 0,96$ и $1,09$ м.

Коэффициент, учитывающий удлинение стеблей в ленте льна κ , определим из выражения



а) б)
Рисунок 2. Схема (а) и общий вид (б) лабораторной установки для определения параметров Δ_l и κ : 1 – плита; 2 – лента стеблей льна; 3 – зажимное устройство; 4 – линейная шкала; 5 – груз; 6 – рама; V_l – ширина ленты льна, м; L_1 – длина участка стебля льна до воздействия на него груза, м; L_2 – длина участка стебля льна после воздействия на него груза, м; Δ_l – величина, на которую вытянулся стебель льна под действием груза, м; $\Delta_{ст}$ – общая величина, на которую вытянулся стебель льна под действием груза, м

$$\kappa = \frac{L_{об} + \Delta_l}{L_{об}}, \quad (19)$$

где Δ_l – величина, на которую вытянулся стебель льна под действием груза, м.

Для определения величины κ были заготовлены опытные образцы свежевытербленного льна на полях льнозавода ОАО «Горкилен». Исследуемые образцы стеблей льна имели влажность 43-55 %, значения диаметров стеблей находились в пределах $(0,48-2,37) \cdot 10^{-3}$ м, а их средняя длина – 0,69-1,09 м.

В результате исследований получено 140 значений величины Δ_l и 140 расчетных значений κ при различных значениях $L_{об}$. Практические наблюдения в процессе проведения эксперимента позволили установить основные факторы, влияющие на параметр Δ_l . К ним относятся: перекося стеблей в ленте, кривизна самого стебля и относительное удлинение стебля под действием приложенной силы.

Влияние длины участка ленты льна $L_{об}$ на Δ_l и κ обосновывается связью между перекося стеблей в ленте и работой делителей, тербильного аппарата и скоростного режима льноуборочного комбайна [22-24].

Статистическую обработку полученных данных проводили в программе Microsoft Excel с помощью надстройки «Анализ данных», «Однофакторный дисперсионный анализ» [25]. В результате оценки установлена доля влияния фактора (L_1) на величины Δ_l и $\Delta_{ст}$ соответственно: при величине $L_{об} = 0,46$ м – 33,07

и 68,98 %; $L_{об} = 0,55$ м – 48,62 и 35,40 %; $L_{об} = 0,64$ м – 76,99 и 17,72 %; $L_{об} = 0,73$ м – 90,01 и 2,67 %. Снижение доли влияния параметра L_1 на величины Δ_l и $\Delta_{ст}$ может объясняться наличием относительного сдвига стеблей в ленте льна.

Средние значения показателей величины Δ_l и коэффициента κ для различных величин $L_{об}$ приведены в таблице 1.

Расчитанный коэффициент корреляции между показателями $L_{об}$ и Δ_l составил 0,998, а между показателями $L_{об}$ и $\Delta_{ст}$ – 0,987, что свидетельствует о сильной прямой связи между ними, и при проведении расчетов можно воспользоваться одним из них. Также следует отметить, что изменение параметров коэффициента κ в зависимости от величины $L_{об}$ нелинейно.

Графики зависимостей длины участка Δ_l и коэффициента κ от длины обрабатываемого участка стебля льна $L_{об}$ от места зажима до вершины приведены на рисунке 3.

Из рисунка 3 видно, что параметр Δ_l хорошо подчиняется линейной зависимости от $L_{об}$ вида

$$\Delta_l = 0,0092 \cdot L_{об} + 0,0157, \quad (20)$$

с коэффициентом детерминации равным 0,995, а коэффициент κ – квадратичной зависимости

$$\kappa = -0,002 \cdot L_{об}^2 + 0,0162 \cdot L_{об} + 1,0385 \quad (21)$$

с коэффициентом детерминации равным 0,99.

Приведем пример моделирования конструктивных параметров предлагаемого бильно-вычесыва-

Таблица 1. Результаты оценки влияния величины $L_{об}$ на Δ_l и коэффициент κ

Наименование параметра	Величина $L_{об}$, м			
	0,46	0,55	0,64	0,73
Среднее значение величины удлинения стебля льна Δ_l , м	0,020	0,030	0,039	0,047
Значение коэффициента удлинения стеблей в ленте льна κ	1,053	1,063	1,069	1,071

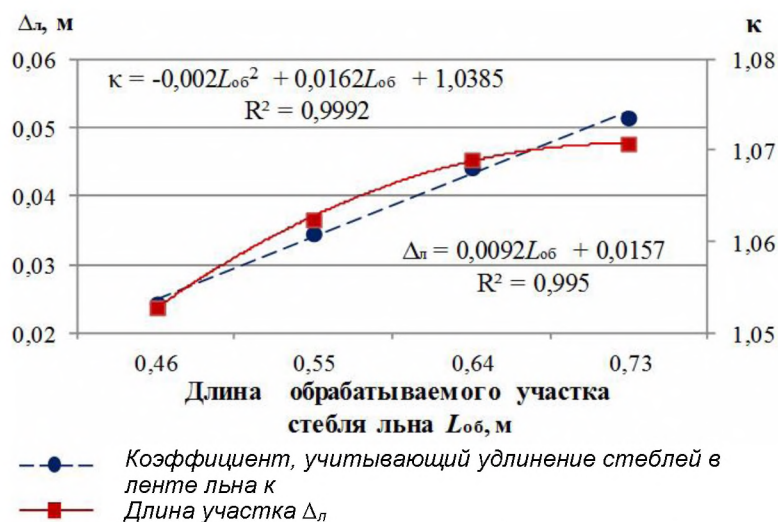


Рисунок 3. Графики зависимости Δ_l и коэффициента удлинения стеблей в ленте льна κ от $L_{об}$

ющего устройства в математическом пакете MathCad (рис. 4). Для этого примем $\delta = 0,04$ м (обусловлено конструктивными особенностями бильно-вычесывающего

является постоянной величиной для принятого значения предельного угла изгиба стеблей льна. Таким образом, полученный безразмерный показатель R/r является параметром подбора обмолачивающих устройств, сконструированных по предлагаемой схеме компоновки и взаимного расположения рабочих органов. Установлены зависимости для определения радиуса ротора и радиуса защитного кольца из условия не наматывания стеблей льна на защитное кольцо с учетом возможного удлинения стеблей в ленте льна за счет продольных сил, действующих на стебли при работе устройства.

Получены эмпирические закономерности изменения величины удлинения стебля льна Δ_l и коэффициента удлинения стеблей в ленте льна κ от длины участка стеблей льна, находящегося в зоне обмолота $L_{об}$.

Полученные результаты позволили установить для конструкции предлагаемого роторного бильно-вычесывающего устройства значение минимального радиуса зажимного кольца и радиуса ротора. При максимальной возможной ширине ленты стеблей льна, находящейся в зоне обмолота 1,09 м, радиус защитного кольца должен составлять не менее 0,12 м. Расчетный диаметр ротора при радиусе защитного кольца 0,12 м и предельном угле изгиба стеблей льна 17° должен составлять не менее 0,346 м.

Mathcad - [Безымянный.2]

Файл Правка Вид Добавить Формат Инструменты Символика Окно Справка

Normal Arial 10 B I U

$L_{об} := 1.09$ длина стебля льна от места зажима до верхушки, м

$\delta := 0.04$ расстояние между плоскостью зажимного транспортера и ротором, м

$\eta_{пр} := 17 \cdot \frac{\pi}{180} = 0.297$ предельный угол изгиба стебля льна, рад.

$\kappa := -0.002 \cdot L_{об}^2 + 0.0162 \cdot L_{об} + 1.0385$ коэффициент, учитывающий удлинение стеблей в ленте льна

Радиус защитного кольца роторного бильно-вычесывающего устройства определим по выражению

$$\frac{L \cdot \kappa - \cos(\eta_{пр}) \cdot \left(\delta + \frac{2 \cdot \delta \cdot \tan(\eta_{пр})}{\cos(\eta_{пр}) \cdot \tan(\eta_{пр})^2 - 2 \cdot \tan(\eta_{пр}) + \cos(\eta_{пр})} \right)}{2 \cdot \pi + \cos(\eta_{пр}) \cdot \left(\sin(\eta_{пр}) + \frac{\cos(\eta_{пр}) \cdot \tan(\eta_{пр})^2 + \cos(\eta_{пр})}{\cos(\eta_{пр}) \cdot \tan(\eta_{пр})^2 - 2 \cdot \tan(\eta_{пр}) + \cos(\eta_{пр})} \right)} = 0.12$$

В дальнейших расчетах принимаем $r := 0.12$ м

Радиус ротора обмолачивающего устройства определим по выражению

$$\frac{r \cdot \cos(\eta_{пр}) \cdot \tan(\eta_{пр})^2 + 2 \cdot \delta \cdot \tan(\eta_{пр}) + r \cdot \cos(\eta_{пр})}{\cos(\eta_{пр}) \cdot \tan(\eta_{пр})^2 - 2 \cdot \tan(\eta_{пр}) + \cos(\eta_{пр})} = 0.3453$$

Рисунок 4. Исходные данные и расчетная часть определения конструктивных параметров предлагаемого бильно-вычесывающего устройства

**СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ
ИСТОЧНИКОВ**

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. Состояние льноводческой отрасли Республики Беларусь и пути повышения ее эффективности / В.А. Шаршунов, А.С. Алексеенко, М.В. Цайц // Вестник БГСХА. – 2019. – № 2. – С. 267-271.
3. 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.
4. Яньшина, А.А. Обоснование срока теребления льна-долгунца для получения семян с высокими посевными качествами / А.А. Яньшина, А.А. Линь, В.М. Михайлов // Достижения науки и техники АПК. – 2015. – Т. 29. – № 2. – С. 33-35.
5. Мансапова, А.И. Особенности технологий возделывания льна-долгунца на волокно и семена в подтаежной зоне Омской области / А.И. Мансапова, М.А. Горбова // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2020. – № 12 (194). – С. 24-30.
6. Ковалев, М.М. Ресурсосберегающая технология комбинированной уборки льна-долгунца / М.М. Ковалев, Б.А. Поздняков // Интенсификация машинных технологий производства и переработки льнопродукции: материалы Международной науч.-практич. конф. – Тверь: ГНУ ВНИПТИМЛ. – 2004. – Ч. 1. – С. 93-102.
7. Раздельная уборка льна-долгунца в условиях льносеющих хозяйств / М.М. Труш [и др.] // Сб. науч. тр. – Торжок: ВНИИ льна, 1991. – Вып. XXVII. – С. 73-81.
8. Крагельский, И.В. Трение волокнистых веществ / И.В. Крагельский. – М.: Гизлегпром, 1941. – 127 с.
9. Крагельский, И.В. Физико-механические свойства лубяного сырья / И.В. Крагельский. – М.: Гизлегпром, 1935. – 299 с.
10. Хайлис, Г.А. Механика растительных материалов / Г.А. Хайлис. – Киев: изд-во УААН, 2002. – С. 160-167.
11. Хайлис, Г.А. Механика растительных материалов / Г.А. Хайлис. – Киев: изд-во УААН, 1994. – 332 с.
12. Быков, Н.Н. Исследование технологического процесса и устройств для зажима стеблей в льноуборочных комбайнах: дис. ... канд. техн. наук: 05.20.01 / Н.Н. Быков. – Торжок, 1969. – 163 с.
13. Шлыков, М.И. Льноуборочный комбайн (теория, расчет, конструкция) / М.И. Шлыков. – М.: Машгиз, 1949. – 300 с.
14. Прибытков, П.Ф. Экспериментальные исследования процесса очеса льна у комбайна ЛК-7: дис. ... канд. техн. наук: 05.20.01 / П.Ф. Прибытков. – Л.: Пушкин, 1952. – 177 с.
15. Шрамко, П.К. Изыскание способов снижения выхода путанины в работе очесывающего аппарата в системе льнокомбайна ЛК-7: дис. ... канд. техн. наук: 05.20.01 / П.К. Шрамко. – Л.: Пушкин, 1955. – 167 с.
16. Вакарчук, С. Анализ очесывающих аппаратов для отделения семян от стеблей льна / С. Вакарчук // Актуальные вопросы развития науки и технологий: сборник статей Международной науч.-практич. конференции молодых ученых, Караваево, 01-31 марта 2017 г. / Костромская государственная сельскохозяйственная академия. – Караваево: Костромская государственная сельскохозяйственная академия, 2017. – С. 71-75.
17. 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.
18. Устройство для отделения семенных коробочек и семян льна от стеблей: патент 2788696 С1 РФ / М.В. Симонов, В.А. Шаршунов, Н.С. Сентюров, М.В. Цайц. – Заявл. 16.06.2022. – Опубл. 24.01.2023. – Бюл. № 3.
19. Устройство для отделения семенных коробочек льна от стеблей: пат. 21293 Респ. Беларусь, МПК А 01D 45/06 (2006.01) / В.Е. Кругленья, В.И. Коцуба, П.Д. Сентюров, А.Д. Сентюров, М.В. Цайц, Г.А. Райлян, И.Л. Подшиваленко. – Заявл. 14.01.13. Опубл. 25.05.17 // Бюл. – № 4 (117). – С. 57.
20. Обоснование рациональной схемы расположения элементов роторного устройства для отделения семенной части от стеблей льна и конструктивных его параметров / С.В. Курзенков, М.В. Симонов, М.В. Цайц, В.И. Коцуба // Вестник НГИЭИ. – 2022. – № 10 (137). – С. 7-19.
21. Зинцов, А.Н. Обоснование и разработка процессов и машин для раздельной уборки льна-долгунца: дис. ... док. техн. наук: 05.20.01 / А.Н. Зинцов. – Кострома, 2007. – 347 с.
22. Астахов, В.С. Анализ формирования растянутой ленты льна-долгунца при уборке комбайновой технологией / В.С. Астахов, С.В. Курзенков, О.В. Гордеенко // Вестник БГСХА. – 2022. – № 2. – С. 180-186.
23. Зинцов, А.Н. О взаимном расположении ленты растений льна-долгунца и очесывающего аппарата при раздельной уборке / А.Н. Зинцов // Тракторы и сельхозмашины. – 2020. – № 3. – С. 75-80.
24. Перевозников, В.Н. Исследование процесса отделения семян в линии первичной переработки льна / В.Н. Перевозников, В.А. Левчук, В.И. Коцуба // Инновационные технологии в агропромышленном комплексе – сегодня и завтра. – Гомель: Научно-технический центр комбайностроения ОАО «Гомсельмаш». – 2022. – С. 219-223.
25. Останин, В.П. Применение математических методов и ЭВМ. Планирование и обработка результатов эксперимента: учеб. пособие / А.Н. Останин, В.П. Тюленев, А.В. Романов, А.А. Петровский, под общ. ред. А.Н. Основина. – Минск: Выш. шк., 1989. – 218 с.

26. Ковалев, М.М. Исследование сопротивления стеблей льна отгибу / М.М. Ковалев, А.В. Галкин, В.И. Дмитриев // Проблемы повышения технологического качества льна-долгунца: материалы Междуна-

родной науч.-технич. конф., Торжок, 02-03 ноября 2004 г. – Торжок: ООО «Вариант», 2005. – С. 224-229.

ПОСТУПИЛА В РЕДАКЦИЮ 11.05.2023

УДК 631.31.001.24

<https://doi.org/10.56619/2078-7138-2023-157-3-21-25>

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОБРАБОТКИ ПОЧВЫ РЫХЛИТЕЛЬНЫМ ОРГАНОМ ГЛУБОКОРЫХЛИТЕЛЯ

В.П. Чеботарев,

зав. каф. сельскохозяйственных машин БГАТУ, докт. техн. наук, профессор

Г.А. Радишевский,

доцент каф. сельскохозяйственных машин БГАТУ, канд. техн. наук, доцент

Г.Н. Портянко,

доцент каф. сельскохозяйственных машин БГАТУ, канд. техн. наук, доцент

Н.П. Гурнович,

доцент каф. сельскохозяйственных машин БГАТУ, канд. техн. наук, доцент

В.В. Козловский, Е.Ю. Позняк,

студенты агромеханического факультета БГАТУ

В статье представлены результаты теоретических и лабораторных исследований рыхлительного органа, обеспечивающего разрушение уплотненного подпахотного слоя.

Ключевые слова: почва, уплотненный слой, рыхлительный орган.

The article presents the results of theoretical and laboratory studies of the loosening unit that ensures the destruction of the compacted subsurface layer.

Key words: soil, compacted layer, loosening unit.

Введение

Одной из задач механической обработки почвы является создание оптимальной плотности и ее структурного сложения.

Сельскохозяйственные растения хорошо развиваются при благоприятных физических, химических и биологических процессах, протекающих в почве. Протекание этих процессов зависит от состояния поверхностного (посевного) слоя почвы: отсутствия глыб и комков, наличия мульчированного верхнего слоя, сохраняющего тепло и влагу, равномерного рыхления до определенной плотности. При отклонении плотности пахотного горизонта от оптимального значения ($1,0 \dots 1,3 \text{ г/см}^3$) в зоне расположения высеванных семян для зерновых культур на $0,1 \dots 0,3 \text{ г/см}^3$ снижается урожайность на $20 \dots 45 \%$ [1].

При длительном применении классической технологии обработки почвы – вспашки снижается ее плодородие и урожайность сельскохозяйственных культур из-за интенсивного разрушения и уплотнения вследствие многократных проходов машинно-тракторных агрегатов (МТА) [1]. Многократные проходы МТА по полю способствуют распылению верхнего и уплотнению нижнего слоя почвы, что отрица-

тельно влияет на плодородие и урожайность сельскохозяйственных культур [2]. Кроме того, при обработке почвы на постоянную глубину она подвергается уплотнению пахотного слоя рабочими органами сельскохозяйственных машин и ходовыми системами энергетических средств. В результате уплотнения объемная масса почвы и ее сопротивление обработке повышаются, соответственно, в $1,5 \dots 2,0$ и $1,3 \dots 1,9$ раза, снижается общая капиллярная пористость плодородного слоя, что способствует снижению жизнедеятельности почвенной микрофлоры и приводит к недобору урожая [3].

В результате работы отвальных плугов в слое почвы, расположенном ниже прохода лезвий рабочих органов почвообрабатывающих машин, образуется, так называемая, «плужная подошва», которая препятствует проникновению выпавших осадков в нижележащие слои и испарению излишков влаги из нижних горизонтов. При этом корневая система растений не может проникнуть в уплотненный слой (плужную подошву) и в нижние слои почвы, где располагаются питательные вещества. Плужная подошва препятствует миграции вредных веществ из верхних горизонтов пахотного слоя в нижние и попаданию питательных веществ из нижних слоев в верхние, в ре-