

2. Ковалев, М.М. Определение параметров ременно-пальцевого транспортера льноуборочных машин / М.М. Ковалев, Р.А. Ростовцев, А.И. Паплевченков // Техника в сельском хозяйстве. – 2008. – № 5 – С. 5–8.
3. Дьяконов, В.П. Mathcad 11/12/13 в математике: справочник / В.П. Дьяконов. – М.: Горячая линия – Телеком, 2007. – 958 с.: ил.
4. Ростовцев, Р.А. Обоснование формы направляющих прутков подбирающих аппаратов / Р.А. Ростовцев, А.А. Кулаков // Повышение эффективности использования ресурсов при производстве сельскохозяйственной продукции: сб. науч. докл. XIV Междунар. науч.-практ. конф., г. Тамбов, 19–20 сентября 2007 г. – Тамбов: Изд-во ГНУ ВИИТиН, 2007. – Ч. 1: Повышение эффективности использования ресурсов в растениеводстве и животноводстве. – С. 101–105.
5. Ковалев, Н.Г. Сельскохозяйственные материалы (виды, состав, свойства): учебное пособие / Н.Г. Ковалев, Г.А. Хайлис, М.М. Ковалев. – М.: ИК «Родник», журнал «Аграрная наука», 1998. – 208 с.

УДК 631.358

М.М. Ковалев,
Р.А. Ростовцев, Г.А. Перов
 (ФГБНУ ВНИИМЛ,
 г. Тверь, Российская Федерация);

П.П. Казакевич
 (Национальная академия наук Беларуси,
 г. Минск, Республика Беларусь);

В.П. Чеботарев, С.Ф. Лойко
 (РУП «НПЦ НАН Беларуси
 по механизации сельского хозяйства»,
 г. Минск, Республика Беларусь)

ОБОСНОВАНИЕ НЕКОТОРЫХ ПАРАМЕТРОВ ПОДБИРАЮЩЕ- ОБОРАЧИВАЮЩЕГО УСТРОЙСТВА

Постановка проблемы

В настоящее время в сельскохозяйственном производстве для подбора лент льна широко применяются барабанные подбирающие аппараты [1, 2]. Они содержат ременный транспортер, огибающий подбирающий барабан с убирающимися пальцами, и расположенные над ремнем направляющие прутки. Для качественной работы такого подбирающего аппарата необходимо подобрать форму надбарабанной части направляющих прутков таким образом, чтобы с целью уплотнения ленты льна обеспечить постепенное уменьшение ширины канала транспортера, образованного ремнем и прутками, и произвести сопряжение надбарабанной части прутков с последующим участком (как правило, прямой линией, расположенной над ремнем транспортера), независимо от угла $\beta_{\text{тп}}$ расположения транспортирующего устройства.

Анализ литературы

В [3] указывается, что надбарабанная часть направляющих прутков должна быть изогнута в виде вогнутой кривой. Однако вогнутая кривая, по которой изогнуты прутки на этом участке, может быть представлена множеством линий, например параболой, дугой окружности, смещенной относительно центра барабана, спиралью и т. д. Поэтому необходимо произвести исследования кривых на пригодность и обосновать рациональную форму надбарабанной части направляющих прутков.

Методика исследований

Изучение процесса подбора ленты льна и разработка алгоритма расчета основывались на методах математического анализа с последующим построением моделей и проведением вычислений с помощью электронно-вычислительной техники и компьютерной программы Mathcad 12 [4].

Результаты исследований

Проведем сравнительный анализ кривых, в ходе которого рассмотрим два случая: первый – надбарабанная часть направляющих прутков выполнена в виде параболы, второй – в виде спирали.

Участок с изогнутыми в виде вогнутой кривой направляющими прутками обозначим CD (рисунок 5) и найдем полярный радиус $R_{\text{пн}}$ на этом участке, изменение которого зависит от кривой – формы изогнутости прутков.

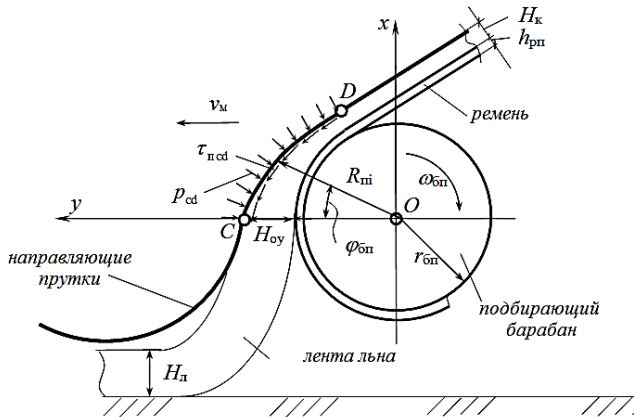


Рисунок 5 – Схема к определению формы надбарабанной части направляющих прутков

Уравнение параболы имеет вид [5]:

$$y = -k_{\text{п}} x^2 + R_{\text{пс}},$$

где $k_{\text{п}}$ – угловой коэффициент параболы;

$$R_{\text{пс}} = r_{\text{бп}} + h_{\text{рп}} + H_{\text{оу}};$$

$r_{\text{бп}}$ – радиус барабана;

$h_{\text{рп}}$ – толщина ремня;

$H_{\text{оу}}$ – расстояние по оси y от точки C до ремня.

Координаты любой точки направляющих прутков можно определить как

$$x = R_{\text{пн}} \sin \varphi_{\text{бп}}, y = R_{\text{пн}} \cos \varphi_{\text{бп}},$$

где $\varphi_{\text{бп}}$ – полярный угол.

Так как прутки в нашем случае изогнуты по параболе, то после подстановки этих координат в уравнение параболы получим:

$$k_{\text{п}} R_{\text{пн}}^2 \sin^2 \varphi_{\text{бп}} + R_{\text{пн}} \cos \varphi_{\text{бп}} - R_{\text{пс}} = 0. \quad (1)$$

При $\varphi_{\text{бп}} = 0$ из этого уравнения получаем $R_{\text{пн}} = R_{\text{пс}}$, т. е. координаты вершины параболы.

Решив уравнение (1) относительно $R_{\text{пн}}$, найдем изменение радиуса по ветвям параболы:

$$R_{\text{пн}1,2} = \frac{-\cos \varphi_{\text{бп}} \pm \sqrt{\cos^2 \varphi_{\text{бп}} + 4k_{\text{п}} R_{\text{пс}} \sin^2 \varphi_{\text{бп}}}}{2k_{\text{п}} \sin^2 \varphi_{\text{бп}}}, \text{ для } \varphi_{\text{бп}} \neq 0. \quad (2)$$

В данном уравнении два значения $R_{\text{пн}}$ определяют изменение этого радиуса по ветвям параболы (в нашем случае необходимо брать знак «+»).

Из уравнения (2) видно, что, варьируя коэффициентом $k_{\text{п}}$, можно задавать положение точки D в зависимости от угла $\beta_{\text{тп}}$ установки транспортера.

Рассмотрим случай, когда прутки изогнуты по спирали, например, логарифмической [5]:

$$R_{\text{пн}} = R_{\text{пс}} \exp(-k_{\text{с}} \varphi_{\text{бп}}), \quad (3)$$

где $k_{\text{с}}$ – коэффициент, равный $\text{ctg } \alpha_{\text{сп}}$;

$\alpha_{\text{сп}}$ – угол между касательной к спирали и радиусом $R_{\text{пн}}$.

Спираль является наиболее простой и универсальной кривой, по которой могут быть изогнуты прутки на участке CD , т. к. позволяет при любом радиусе $r_{\text{бп}}$ барабана и угле $\beta_{\text{тп}}$ наклона транспортера подобрать такое значение коэффициента $k_{\text{с}}$, которое бы обеспечивало по мере продвижения стеблей от точки C к D постепенное уменьшение расстояния между ремнем и прутками, а также плавный переход последних в прямую или другую линию.

Коэффициенты $k_{\text{с}}$ и $k_{\text{п}}$ определяются из уравнений (1) и (3). Если подставить в них значение радиуса $R_{\text{пн}}$ в точке D , равное $r_{\text{бп}} + h_{\text{рп}} + h_{\text{к}}$, получим:

- для параболы

$$k_n = \frac{(r_{\text{бп}} + h_{\text{рп}} + H_{\text{оу}}) - (r_{\text{бп}} + h_{\text{рп}} + h_k) \cos \varphi_{\text{бпD}}}{(r_{\text{бп}} + h_{\text{рп}} + h_k)^2 \sin^2 \varphi_{\text{бпD}}}; \quad (4)$$

- для спирали

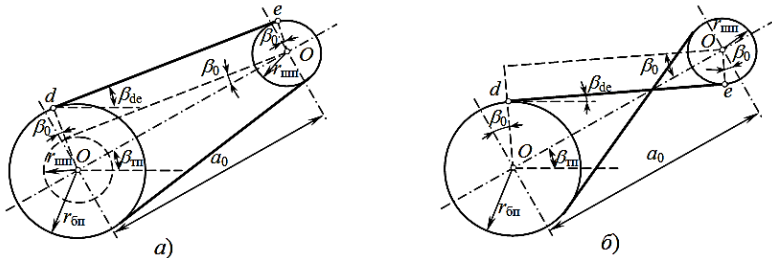
$$k_c = - \frac{\ln \left[\frac{(r_{\text{бп}} + h_{\text{рп}} + h_k)}{(r_{\text{бп}} + h_{\text{рп}} + H_{\text{оу}})} \right]}{\varphi_{\text{бпD}}}, \quad (5)$$

где h_k – ширина канала транспортера, равная расстоянию по полярному радиусу от точки D направляющих прутков до ремня транспортера;

$\varphi_{\text{бпD}}$ – полярный угол между осью Oy и отрезком OD .

В точке D направляющие прутки сопрягаются с другим участком, поэтому касательная в месте сопряжения должна быть направлена под заданным углом. Чаще всего прутки в месте сопряжения переходят в прямолинейный участок, расположенный над ремнем транспортера, тогда указанный угол будет равен углу $\beta_{\text{де}}$ наклона рабочей ветви транспортера к оси Oy , что соответствует его наклону к поверхности поля. Данный угол $\beta_{\text{де}}$ связан с углом $\beta_{\text{пн}}$ наклона транспортера и зависит от расстояния a_0 между осями подбирающего барабана и выходного шкива, а также от их радиусов $r_{\text{бп}}$ и $r_{\text{шп}}$ соответственно. Установим данную зависимость.

На рисунке 6 представлены схемы транспортеров с обычным и перекрестным ремнями.



а) с обычным ремнем; б) с перекрестным ремнем

Рисунок 6 – Схемы ременных транспортеров

Из рисунка 6 видно, что для транспортера:

а) с обычным ремнем:

- при $r_{\text{бп}} > r_{\text{шп}}$ угол $\beta_{\text{де}}$ наклона ремня и длина $S_{\text{де}}$ транспортирующего участка

$$\beta_{\text{де}} = \beta_{\text{пн}} - \arcsin \frac{r_{\text{бп}} - r_{\text{шп}}}{a_0}, \quad S_{\text{де}} = \sqrt{a_0^2 - r_{\text{шп}}^2}; \quad (6)$$

• при $r_{\text{бп}} < r_{\text{шп}}$ угол $\beta_{\text{де}}$ наклона ремня и длина $S_{\text{де}}$ транспортирующего участка

$$\beta_{\text{де}} = \beta_{\text{тп}} - \arcsin \frac{r_{\text{шп}} - r_{\text{бп}}}{a_0}, \quad S_{\text{де}} = \sqrt{a_0^2 - r_{\text{бп}}^2}; \quad (7)$$

б) с перекрестным ремнем угол $\beta_{\text{де}}$ наклона ремня и длина $S_{\text{де}}$ транспортирующего участка

$$\beta_{\text{де}} = \beta_{\text{тп}} - \arcsin \frac{r_{\text{бп}} + r_{\text{шп}}}{a_0}, \quad S_{\text{де}} = \sqrt{a_0^2 - (r_{\text{бп}} + r_{\text{шп}})^2}. \quad (8)$$

С другой стороны, угол $\beta_{\text{де}}$ связан с параметрами кривой, в форме которой выполнены прутки на участке CD . Произведем расчет этого угла при разной форме направляющих прутков. Для расчета зададимся углом $\varphi_{\text{бпD}}$ поворота подбирающего барабана 54° , радиусом $r_{\text{бп}}$ барабана $0,16$ м, толщину $h_{\text{рп}}$ ремня транспортера примем $0,01$ м, расстояния $H_{\text{оу}}$ и $h_{\text{к}}$ от транспортера до прижимных прутков в точках C и D – $0,08$ и $0,04$ м соответственно.

При данных параметрах по формулам (4) и (5) найдем значения коэффициентов $k_{\text{п}}$ и $k_{\text{с}}$, которые равны: для параболы – $4,25$ и для спирали – $0,17$.

Так как производная любой функции равна тангенсу угла наклона касательной к оси абсцисс [5], то угол $\beta_{\text{де}}$ наклона прямолинейного участка прутков к горизонту при параболической форме прутков можно найти как $\beta_{\text{де}} = \arctg[1/f'(x)]$. После расчета получим: $\beta_{\text{де}} = 0,604 \text{ рад.}$, или 35° .

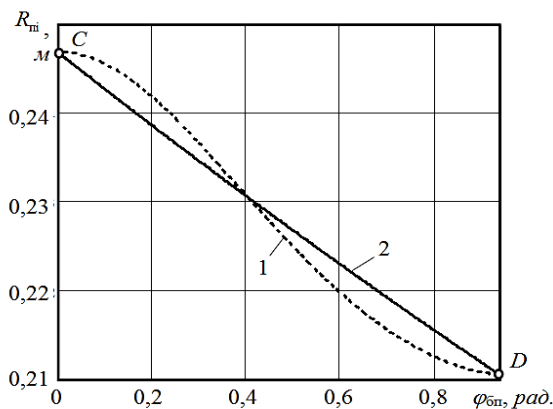
Угол $\beta_{\text{де}}$ наклона прямолинейного участка прутков к горизонту при спиралевидной форме прутков найдем из формулы:

$$\beta_{\text{де}} = \pi - \varphi_{\text{бпD}} - \arctg \frac{1}{k_{\text{с}}}. \quad (9)$$

После расчета получим: $\beta_{\text{де}} = 0,838 \text{ рад.}$, или 48° .

Для определения наиболее целесообразной формы надбарабанной части направляющих прутков по формулам (2) и (3) построены графики (рисунок 7) изменения радиуса $R_{\text{пн}}$ в зависимости от угла $\varphi_{\text{бп}}$ поворота барабана для прутков разной формы – параболической и спиралевидной.

Проанализировав полученные результаты, можно сделать вывод, что при параболической форме направляющих прутков изменение расстояния между прутками и барабаном на участке CD происходит неравномерно. Такое явление нежелательно, так как может вызвать забивки канала транспортера в данном месте. У спиралевидных же прутков изменение радиуса $R_{\text{пн}}$ происходит постепенно, практически по прямолинейной зависимости.



1 – параболическая форма прутков; 2 – спиралевидная

Рисунок 7 – Изменение расстояния R_{ni} от направляющих прутков до центра барабана в зависимости от угла $\varphi_{бп}$ его поворота

Рассмотрим изменение давления p_{cd} со стороны стеблей на направляющие прутки различной формы в процессе их перемещения вдоль участка CD . Как уже было сказано выше, лента льна, перемещаясь, уплотняется за счет уменьшения расстояния между прутками и ремнем, огибающим подбирающий барабан. При уплотнении возрастает давление p_{cd} со стороны стеблей на прутки и ремень, следовательно, возрастают и силы $\tau_{п cd}$ трения, препятствующие движению ленты льна.

Определим, как изменяется давление p_{cd} при перемещении ленты льна. Для этого воспользуемся формулами [6], описывающими процесс сжатия группы стеблей. При расчетах пространство, ограниченное прутками и ремнем на участке CD , представим как камеру сжатия шириной l_{cd} , где стебли находятся под давлением p_{cd} при изменении толщины ленты с H_{oy} до h_k . Тогда первоначальная длина камеры сжатия будет равна H_{oy} , а максимальный ход s поршня $H_{oy} - h_k$.

Чтобы найти изменение давления p_{cd} на прутки в процессе движения ленты стеблей от точки C к D , представим s как $r_{бп} + h_{пп} + H_{oy} - R_{ni}$, тогда

$$p_{cd} = p_{cd0} + p_{вр} \left[\exp \left[a_r \left(\frac{r_{бп} + h_{пп} + H_{oy} - R_{ni}}{H_{oy}} \right) \right] - 1 \right], \quad (10)$$

где p_{cd0} – начальное давление, имеющее место, если толщина $H_{л}$ ленты льна больше расстояния H_{oy} .

По формуле (10) рассчитаем изменение давления p_{cd} на участке CD при $p_{cd0} = 0$ и ранее принятых параметрах подбирающего устройства, а

также при разной форме направляющих прутков. По полученным значениям на рисунке 8 построены графики.

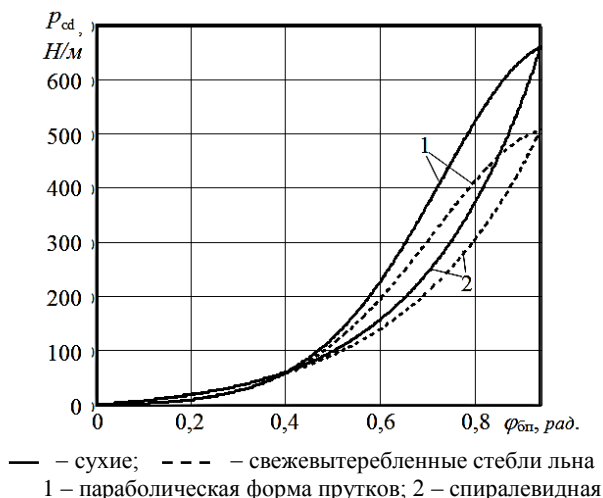
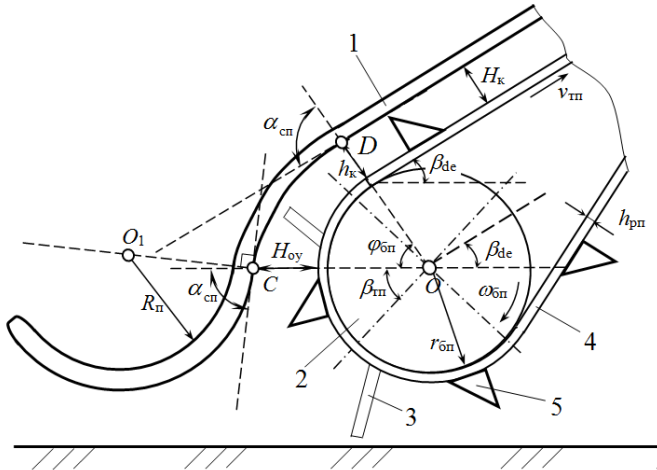


Рисунок 8 – Изменение давления p_{cd} стеблей льна на направляющие прутки и ремень в зависимости от угла $\varphi_{бп}$ поворота барабана

Из графиков на рисунке 8 видно, что при параболической форме направляющих прутков давление p_{cd} возрастает более резко, чем при спиралевидной, и, кроме того, при больших значениях угла $\varphi_{бпD}$ кривая изменения давления p_{cd} при параболической форме направляющих прутков может иметь максимум. Резкое возрастание давления p_{cd} ведет к резкому росту сил $\tau_{п cd}$ трения стеблей о направляющие прутки, препятствующих перемещению ленты льна и вызывающих забивку канала транспортера стеблями, что нарушит технологический процесс работы подборщика. У прутков в форме спирали давление p_{cd} возрастает постепенно на всем протяжении. Кроме того, эта кривая позволяет выполнить огибание подбирающего барабана на любой угол $\varphi_{бпD}$, при этом кривые изменения радиуса $R_{пн}$ и давления p_{cd} будут иметь неизменный вид, представленный на рисунках 7 и 8. Это позволяет сделать вывод о преимуществе спирали перед параболой или другой кривой.

На практике при проектировании подбирающе-оборачивающих устройств чаще всего стоит задача, когда заданы угол $\beta_{пн}$ наклона транспортера к поверхности поля и расстояние a_0 между осями подбирающего барабана и выходного шкива (длина стрелы) транспортера, которые выбираются из конструктивных особенностей, и последующее опреде-

ление параметров направляющих прутков на участке CD зависит от их величины (рисунок 9).



1 – направляющие прутки; 2 – подбирающий барабан; 3 – пальцы подбирающего барабана; 4 – ремень транспортера; 5 – пальцы ремня транспортера

Рисунок 9 – Схема к определению параметров спирали надбарабанной части направляющих прутков

В этом случае необходимо по первому уравнению одной из формул (6)–(8) определить значение β_{de} , а затем найти параметры надбарабанной части направляющих прутков. Однако, задавшись углом β_{de} , из уравнения логарифмической спирали выразить в аналитическом виде значения k_c , α_{cp} и $\varphi_{обнD}$ не представляется возможным из-за наличия показательной функции, которая является трансцендентной. Наиболее целесообразно находить эти значения графическим способом, построив для этого номограмму.

Для построения номограммы представим k_c в виде $1/\text{tg } \alpha_{cp}$, а угол $\varphi_{обн}$ выразим через α_{cp} и β_{de} . Из рисунка 9 видно, что $\varphi_{обнD} = \pi - \alpha_{cp} - \beta_{de}$. Подставив эти значения в уравнение логарифмической спирали (3) и выразив β_{de} , построили графики $\beta_{de} = f(\alpha_{cp})$ при различных соотношениях $R_{пD}/R_{пC}$, где $R_{пD}$ – расстояния от центра вращения барабана до точки D направляющих прутков, равное $r_{обн} + h_{рп} + h_k$.

Затем построим графики зависимости $k_c = f(\alpha_{cp})$ и $\varphi_{обнD} = f(k_c)$. После совмещения данных графиков на рисунке 10 построена номограмма для определения параметров логарифмической спирали, форму которой имеют направляющие прутки на участке CD .

Пользуются номограммой следующим образом.

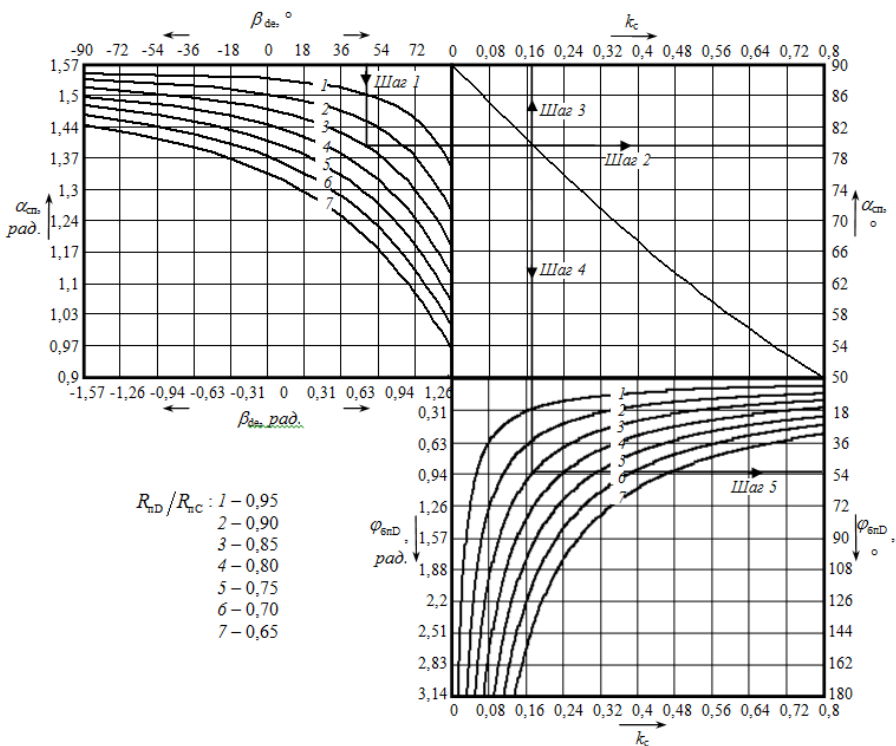


Рисунок 10 – Номограмма для определения параметров логарифмической спирали направляющих прутков на участке CD

Исходными данными являются угол $\beta_{де}$ наклона рабочей ветви транспортера к поверхности поля и отношение радиусов $R_{ни}$ в точках D и C.

Шаг 1. На графике $\beta_{де} = f(\alpha_{сп})$ находят на оси $\beta_{де}$ заданный угол и от его значения проводят вертикальную прямую до пересечения с кривой $R_{нд}/R_{нс}$, имеющей заданное соотношение.

Шаг 2. От кривой $R_{нд}/R_{нс}$ проводят горизонтальную прямую до пересечения с линией $k_c = f(\alpha_{сп})$ и далее до оси $\alpha_{сп}$, по которой определяют значение данного угла.

Шаг 3. От линии $k_c = f(\alpha_{сп})$ проводят вертикальную прямую до пересечения с осью k_c , по которой определяют значение этого коэффициента.

Шаг 4. От линии $k_c = f(\alpha_{сп})$ проводят вниз на график $\varphi_{бнд} = f(k_c)$ вертикальную прямую до пересечения с кривой $R_{нд}/R_{нс}$, имеющей заданное соотношение.

Шаг 5. От кривой $R_{нд}/R_{нс}$ проводят горизонтальную прямую до пересечения с осью $\varphi_{бнд}$, по которой определяют значение данного угла.

Таким образом, с достаточной точностью для проектирования подбирающих аппаратов определяются параметры логарифмической спирали, форму которой имеет надбарабанная часть направляющих прутков.

Следует также отметить, что ширина h_k канала транспортера от точки D направляющих прутков до ремня несколько больше ширины канала H_k транспортера на протяжении участка de транспортирования ленты льна. Из рисунка 9 видно, что эти две величины связаны между собой соотношением $(r_{\text{бп}} + h_{\text{рп}} + h_k) \cos(90^\circ - \alpha_{\text{сп}}) = (r_{\text{бп}} + h_{\text{рп}} + H_k)$. Отсюда, применив формулу приведения $\cos(90^\circ - \alpha_{\text{сп}}) = \sin \alpha_{\text{сп}}$ и выразив h_k , получим:

$$h_k = \frac{(r_{\text{бп}} + h_{\text{рп}} + H_k) - (r_{\text{бп}} + h_{\text{рп}}) \sin \alpha_{\text{сп}}}{\sin \alpha_{\text{сп}}}. \quad (11)$$

Из формулы (11) видно, что при малом угле $\alpha_{\text{сп}}$ и большом радиусе $r_{\text{бп}}$ значения h_k и H_k могут существенно отличаться, что необходимо учитывать при расчетах. В остальных же случаях можно принимать $h_k \approx H_k$.

Длина S_{CD} дуги спирали на участке CD находится по формуле [5]:

$$S_{\text{CD}} = (R_{\text{нс}} - R_{\text{нд}}) \sqrt{1 + k_c^2} / k_c. \quad (12)$$

Выводы

Установлено, что в подбирающе-оборачивающих устройствах надбарабанную часть направляющих прутков следует выполнять в виде логарифмической спирали, что позволяет производить постепенное уплотнение ленты льна в канале транспортера при ее перемещении и исключает забивку канала стеблями.

18.08.2014

Литература

1. Хайлис, Г.А. Элементы теории и расчет льноуборочных машин / Г.А. Хайлис. – М: Машгиз, 1963. – 149 с.: ил.
2. Черников, В.Г. Машины для уборки льна (конструкция, теория и расчет) / В.Г. Черников. – М.: Инфра-М, 1999. – 209 с.
3. Подбирающе-оборачивающее устройство льноуборочной машины: пат. 39990 РФ, МПК 7А01Д45/06 / М.М. Ковалев, В.Г. Черников, В.П. Козлов, В.И. Дмитриев, А.С. Ращук, А.Ф. Ежов; заявитель ГНУ ВНИПТИМЛ РАСХН, ОАО «Тверьсельмаш». – № 2004113846/12; заявл. 24.06.2004; опубл. 10.11.2004. // Изобретения. Полезные модели / Официальный бюллетень ФГУ ФИПС. – Бюл. № 31.
4. Дьяконов, В.П. Mathcad 11/12/13 в математике: справочник / В.П. Дьяконов. – М.: Горячая линия – Телеком, 2007. – 958 с.: ил.
5. Бронштейн, И.Н. Справочник по математике для инженеров и учащихся втузов / И.Н. Бронштейн, К.А. Семендяев. – 13-е изд., исправленное. – М.: Наука, Гл. ред. физ.-мат. лит., 1986. – 544 с.

6. Ковалев, Н.Г. Сельскохозяйственные материалы (виды, состав, свойства): учебное пособие / Н.Г. Ковалев, Г.А. Хайлис, М.М. Ковалев. – М.: ИК «Родник», журнал «Аграрная наука», 1998. – 208 с.

УДК 633.521: 631.172

В.А. Шейченко

*(Национальный научный центр
«Институт механизации и электрификации
сельского хозяйства» Национальной академии
аграрных наук Украины (НААНУ),
п.г.т. Глеваха, Украина);*

А.С. Лимонт

*(Житомирский национальный
агроэкологический университет,
г. Житомир, Украина);*

В.М. Климчук

*(Институт сельского хозяйства Полесья НААНУ,
г. Житомир, Украина)*

ПОДНИМАЕМАЯ ЛЕНТА ЛЬНОТРЕСТЫ И ФОРМИРОВАНИЕ ЕЕ РУЛОНОВ ПРЕСС- ПОДБОРЩИКАМИ

Введение

В Беларуси и России, а также в странах Западной Европы в настоящее время наиболее перспективной считают рулонную технологию уборки льнотресты. Для этого созданы и разрабатываются рулонные пресс-подборщики с прессовальными камерами (ПК) переменного [1] и постоянного [2] объема. В Украине было освоено производство рулонных пресс-подборщиков льняных ПР-1,2Л с ПК переменного и сменных ППР-110 с ПК постоянного объема [3, 4]. Работу пресс-подборщиков оценивают технологическими параметрами и товарными качествами рулона. К технологическим параметрам, помимо прочих, относят линейную массу слоя стеблей в рулоне, а к товарным качествам – повреждение стеблей в рулоне и его плотность. Повреждение стеблей тресты в рулоне влияет на выход и качество волокна при переработке льносырья, а плотность рулона – на использование погрузочно-транспортных средств и эффективность вентилирования упаковок льносырья [5] во избежание его порчи при хранении и переработке. Пресс-подборщики включают, в основном, две составных части – подборщик и прессовальную камеру. В проводимых ранее исследованиях не было освещено влияние параметров подбираемой ленты тресты и забираемого ее элемента рабочим органом подборщика (граблиной) на товарные качества рулона.

Цель исследования состояла в повышении эффективности механизированной уборки льнотресты путем улучшения использования пресс-подборщиков на выполнении указанной работы.