

УДК 631.358

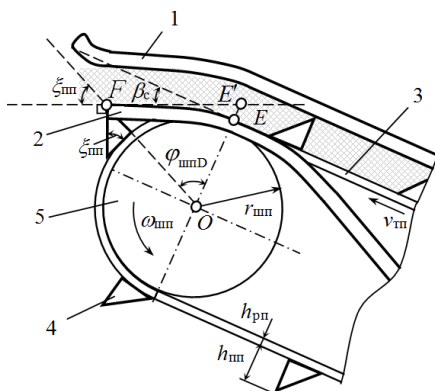
М.М. Ковалев,
Р.А. Ростовцев, Г.А. Перов
(ФГБНУ ВНИИМЛ,
г. Тверь, Российская Федерация);

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)

АНАЛИЗ ПРОЦЕССА ТРАНСПОРТИРОВАНИЯ ЛЕНТЫ ЛЬНА РЕМЕННО-ПАЛЬЦЕВЫМ ТРАНСПОРТЕРОМ

Постановка проблемы



1 и 2 – верхние и нижние направляющие прутки;
3 – ремень транспортера; 4 – палец;
5 – выходной шкив транспортера

**Рисунок 1 – Схема выхода пальцев
из стебельной массы в конце перемещения
растений ремменно-пальцевым транспортером**

Во многих сельскохозяйственных машинах для перемещения и подачи растений к рабочим органам при выполнении различных технологических процессов используются ремменно-пальцевые транспортеры [1]. В большинстве случаев в данных устройствах канал для перемещения стеблей образован ремнем транспортера, снабженным пальцами и направляющими прутками, служащими для поджатия и удержания растений во время их транспортирования. Пальцы установлены на ремне попарно вдоль кромок ремня. Для беспрепятственного схода стеблей с пальцев в конце транспортирования последние выполняются коническими или имеют с фронтальной стороны кромку, расположенную под углом $\xi_{\text{пп}}$ к плоскости ремня (рисунок 1).

Радиус $r_{\text{пп}}$ выходного шкива транспортера должен подбираться в зависимости от угла $\xi_{\text{пп}}$ наклона пальцев к плоскости ремня. В конце транспортирования, при передаче растений последующему рабочему органу или перед их расстилом в поле, со стороны выходного шкива также устанавливают направляющие прутки, поэтому для предотвращения затягивания под них стеблей («эффект ножниц») необходимо, чтобы фронтальная кромка пальца в момент его выхода из стебельной массы

находилась перпендикулярно направлению движения растений, движущихся вдоль направляющих прутков. Как правило, в конце транспортирования, при передаче растений последующему рабочему органу или перед расстилом стеблей в поле, необходимо изменить направление их движения. Эта операция производится также с помощью направляющих прутков. Для качественного выполнения технологического процесса необходимо обосновать параметры ременно-пальцевого транспортера.

Анализ литературы

Исследованием и обоснованием параметров и режимов работы ременно-пальцевых транспортеров, устанавливаемых на льноуборочных машинах, занимались ученые Г.А. Хайлис, В.Г. Черников, В.И. Сизов и другие. В работе [2] исследуются процесс транспортирования растений льна ременно-пальцевым транспортером и передача их к последующему рабочему органу. Однако в данной работе не учитывается изменение направления движения ленты льна при ее выходе из канала транспортера, что имеет место в большинстве льноуборочных машин. В связи с этим требуются дополнительные исследования.

Методика исследований

Изучение процесса оборачивания ленты льна основывалось на методах математического анализа с последующим построением моделей и проведением вычислений с помощью электронно-вычислительной техники и компьютерной программы Mathcad 12 [3].

Результаты исследований

Установим зависимость между радиусом $r_{\text{шп}}$ выходного шкива и углом $\xi_{\text{шп}}$ наклона пальца к плоскости ремня и построим соответствующие графики при различных значениях высоты $h_{\text{шп}}$ пальца и угла β_c , на который необходимо изменить направление движения ленты стеблей льна.

На рисунке 1 показан участок EF кривой направляющих прутков, который должен иметь форму, исключающую затягивание стеблей под прутки и обеспечивающую изменение направления движения ленты стеблей льна на угол β_c . Данные условия будут выполняться в том случае, если кромка пальца в момент его выхода из стебельной массы будет перпендикулярна касательной в точке F к кривой EF , а угол между этой касательной и направлением скорости $v_{\text{шп}}$ перемещения транспортера будет равен углу β_c . В момент выхода пальца из стебельной массы его вершина совпадает с точкой F . Проведем через нее из центра вращения шкива точки O луч. Он будет пересекаться с касательной к точке F под углом, равным углу $\xi_{\text{шп}}$ наклона кромки пальца к плоскости ремня. Предположим, что прутки на участке EF выполнены в виде логарифмической спирали [4], тогда коэффициент спирали k_c равен $1/tg \xi_{\text{шп}}$. В точке

F выразим полярный угол спирали, совпадающий с углом $\varphi_{\text{шнF}}$ поворота шкива, через углы β_c и $\xi_{\text{шн}}$. Для этого рассмотрим треугольник FOE' , в котором угол $FE'O = (\pi/2 - \beta_c)$, а угол EFO равен $\xi_{\text{шн}}$. Отсюда найдем, что $\varphi_{\text{шнF}} = \pi - \xi_{\text{шн}} - (\pi/2 - \beta_c) = \pi/2 - \xi_{\text{шн}} + \beta_c$. Уравнение спирали, отвечающее поставленным выше условиям, будет иметь вид:

$$R_{\text{шн}} = (r_{\text{шн}} + h_{\text{рп}}) \exp \frac{\pi/2 - \xi_{\text{шн}} + \beta_c}{\text{tg } \xi_{\text{шн}}}. \quad (1)$$

Подставив в (1) значение $r_{\text{шн}} + h_{\text{рп}} + h_{\text{шн}}$ полярного радиуса $R_{\text{шнF}}$ в точке F , найдем:

$$(r_{\text{шн}} + h_{\text{рп}} + h_{\text{шн}}) = (r_{\text{шн}} + h_{\text{рп}}) \exp \frac{\pi/2 - \xi_{\text{шн}} + \beta_c}{\text{tg } \xi_{\text{шн}}}.$$

Выразим отсюда $r_{\text{шн}}$ и получим формулу для определения радиуса выходного шкива в зависимости от угла $\xi_{\text{шн}}$ наклона фронтальной кромки пальца к плоскости ремня и угла β_c , на который необходимо изменить направление движения ленты стеблей льна:

$$r_{\text{шн}} = \frac{h_{\text{рп}} \left[\exp \left[(\pi/2 - \xi_{\text{шн}} + \beta_c) / \text{tg } \xi_{\text{шн}} \right] - 1 \right] - h_{\text{шн}}}{1 - \exp \left[(\pi/2 - \xi_{\text{шн}} + \beta_c) / \text{tg } \xi_{\text{шн}} \right]}. \quad (2)$$

По формуле (2) построим графики изменения радиуса $r_{\text{шн}}$ в зависимости от угла $\xi_{\text{шн}}$ установки фронтальной кромки пальца к плоскости ремня транспортера (рисунок 2).

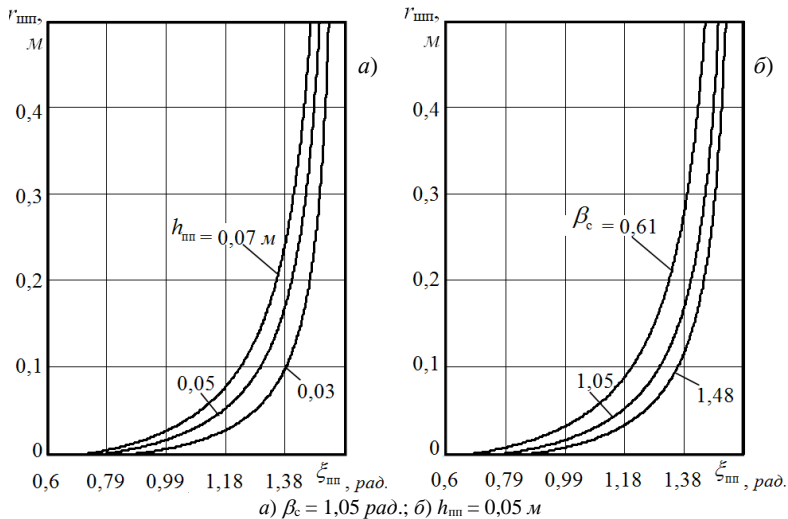


Рисунок 2 – Зависимость радиуса выходного шкива транспортера от угла $\xi_{\text{шн}}$ наклона фронтальной кромки пальца к плоскости ремня

Из анализа графиков на рисунке 2 следует, что с увеличением угла $\xi_{\text{пп}}$ наклона фронтальной кромки пальца к плоскости ремня радиус $r_{\text{пп}}$ выходного шкива увеличивается. Поэтому для уменьшения габаритных размеров устройства необходимо уменьшать угол $\xi_{\text{пп}}$. Однако следует учитывать, что параметры пальца значительно влияют на энергоемкость процесса транспортирования.

Рассмотрим перемещение растений ременно-пальцевым транспортером и определим рациональные параметры пальца. Для надежного удержания стеблей при транспортировании канал имеет ширину $H_{\text{к}}$ меньшую, чем первоначальная толщина $H_{\text{л}}$ ленты, из-за чего стебельная масса находится под давлением и воздействует на прутки с усилием интенсивностью $p_{\text{де}}$ (рисунок 3).

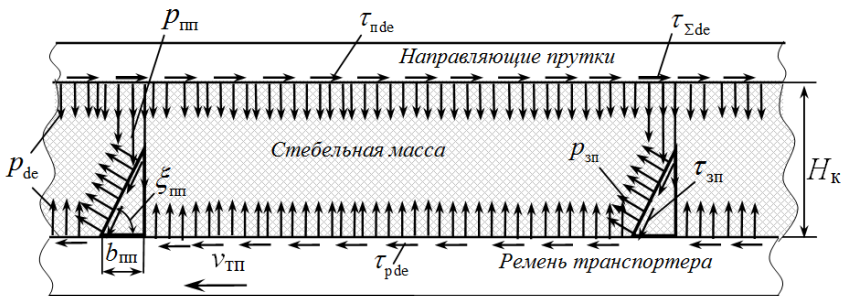


Рисунок 3 – Схема действия сил при транспортировании ленты льна

При движении ремня транспортера между направляющими прутками и стеблями возникают удельные силы $\tau_{\text{пде}}$ трения, направленные против движения растений.

Над пальцами силы $\tau_{\text{зде}}$ трения больше, так как во время движения в этих местах с их стороны на стебли действуют силы p_1 , дополнительно сжимающие стебли и равные:

$$p_1 = p_{\text{зп}} \cos \xi_{\text{пп}} - \tau_{\text{зп}} \sin \xi_{\text{пп}},$$

где $p_{\text{зп}}$ – реакция со стороны пальца;

$\tau_{\text{зп}}$ – удельные силы трения между кромкой пальца и стеблями.

Допустим, что давление $p_{\text{зп}}$ по кромке пальца распределено равномерно, тогда $\tau_{\text{зп}} = f_{\text{зп}} p_{\text{зп}}$, где $f_{\text{зп}}$ – коэффициент трения стеблей льна о кромку пальца.

Под действием сил p_1 стебли дополнительно сжимаются и над каждым пальцем действуют на прутки силами интенсивностью p_2 . Предположим, что действие сил p_2 пропорционально p_1 , то есть можно записать:

$$p_2 = p_{\text{пп}} \cos \xi_{\text{пп}} - f_{\text{зп}} p_{\text{пп}} \sin \xi_{\text{пп}}, \quad (3)$$

где $p_{\text{пп}}$ – силы сопротивления стеблей сжатию, действующие над пальцами.

Таким образом, над пальцами действуют силы трения стеблей о направляющие прутки интенсивностью $\tau_{\text{сде}}$, являющиеся суммой сил трения, возникающих от воздействия сжимающих усилий $p_{\text{де}}$ и $p_{\text{пп}}$.

Допустим, что лента льна однородна и имеет одинаковую толщину по всей длине, тогда для нахождения усилий $p_{\text{де}}$ и $p_{\text{пп}}$ можно воспользоваться формулами, описывающими зависимость удельного сопротивления стеблей сжатию от их плотности [5]:

$$p_{\text{л}} = p_{\text{вр}} \left[\exp \left[a_{\text{г}} (1 - \lambda_0 / \lambda) \right] - 1 \right],$$

где $p_{\text{вр}}$ и $a_{\text{г}}$ – константы, характеризующие свойства стеблей и их начальное состояние;

λ , λ_0 – коэффициенты заполнения сечения в сжатом и свободном состоянии соответственно.

Коэффициенты λ и λ_0 определяются из формул:

$$\lambda = \frac{\pi d^2 i_{\text{сн}}}{4l(L_0 - s)} \quad \text{и} \quad \lambda_0 = \frac{\pi d^2 i_{\text{сн}}}{4lL_0},$$

где l – ширина камеры сжатия;

d – средний диаметр стеблей;

$i_{\text{сн}}$ – число стеблей в камере;

L_0 – первоначальная длина камеры сжатия;

s – ход поршня на участке l .

Для определения $p_{\text{де}}$ пространство, ограниченное прутками и ремнем, представим как камеру сжатия шириной l , равной длине участка транспортирования, где стебли находятся под давлением при изменении толщины ленты с $H_{\text{л}}$ до $H_{\text{к}}$. Тогда первоначальная длина камеры сжатия будет равна $H_{\text{л}}$, а ход поршня $H_{\text{л}} - H_{\text{к}}$. С учетом этого давление

$$p_{\text{де}} = p_{\text{вр}} \left[\exp \left[a_{\text{г}} (1 - H_{\text{к}} / H_{\text{л}}) \right] - 1 \right]. \quad (4)$$

Для определения $p_{\text{пп}}$ пространство над пальцами представим как камеру сжатия шириной $b_{\text{пп}}$, равной ширине основания пальца, где стебли находятся под давлением p_1 , при этом толщина ленты изменяется с $H_{\text{к}}$ до $H_{\text{к}} - b_{\text{пп}} \text{tg } \xi_{\text{пп}}$. Тогда сопротивление $p_{\text{пп}}$ стеблей сжатию в любой точке над пальцами можно определить из формулы:

$$p_{\text{пп}} = p_{\text{вр}} \left[\exp \left[\frac{a_{\text{г}} b_{\text{пп}} \text{tg } \xi_{\text{пп}}}{H_{\text{к}}} \right] - 1 \right], \quad (5)$$

где $b_{\text{пп}}$ – расстояние, характеризующее любую точку в основании пальца.

На рисунке 4 представлены профили фронтальной части пальцев одинаковой высоты $h_{\text{пп}}$, но с разным углом $\xi_{\text{пп}}$ наклона кромки к плоскости ремня, и характерные графики изменения давления p_2 со стороны

стеблей на направляющие прутки над ними под действием нагрузки p_1 , построенные по формуле (3) с учетом (5).

Из рисунка 4 видно, что при равной высоте $h_{\text{пн}}$ пальцев с уменьшением угла $\xi_{\text{пн}}$ наклона кромки к плоскости ремня увеличивается ширина $b_{\text{пн}}$ их основания. При этом давление уменьшается с ростом угла $\xi_{\text{пн}}$ наклона кромки, а при больших значениях угла $\xi_{\text{пн}}$ вовсе отсутствует. Это объясняется тем, что при большом угле $\xi_{\text{пн}}$ наклона величина сил $\tau_{\text{зп}}$ трения велика и стебли не перемещаются вверх по рабочей кромке пальца, а следовательно не оказывают давления на прутки.

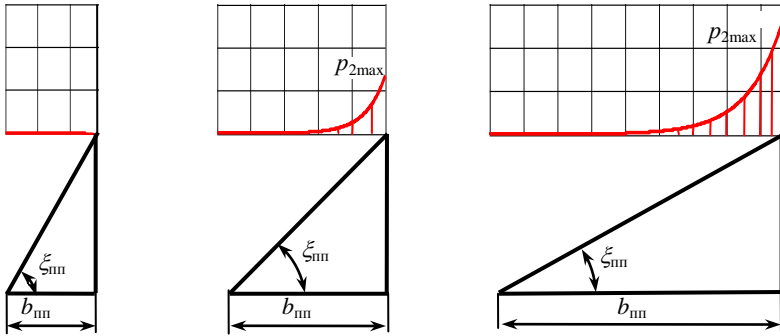


Рисунок 4 – Распределение давления p_2 со стороны стеблей на направляющие прутки в зависимости от угла $\xi_{\text{пн}}$ наклона кромки пальца

Найдем равнодействующую P_{de} давления p_{de} на направляющие прутки. Для этого значение (4) умножим на длину S_{de} участка de транспортирования стеблей, т. е. на длину зоны контакта растений с направляющими прутками. С учетом того что направляющих прутков, как правило, устанавливается два, найдем:

$$P_{\text{de}} = 2 p_{\text{de}} S_{\text{de}} = 2 p_{\text{вр}} S_{\text{де}} \left[\exp \left[a_{\text{r}} \left(1 - H_{\text{к}} / H_{\text{л}} \right) \right] - 1 \right]. \quad (6)$$

Равнодействующая P_2 давления p_2 равна площади его эпюры (рисунок 4). Для упрощения эпюры заменим на прямоугольные треугольники с основанием $b_{\text{пн}}$ и высотой $p_{2\text{max}}$, равной максимальному значению давления p_2 . Тогда равнодействующая P_2 будет равна площади этого треугольника:

$$P_2 = p_{2\text{max}} b_{\text{пн}} / 2. \quad (7)$$

Для нахождения равнодействующей $P_{2\text{де}}$, действующей на всем участке de транспортирования, значение (7) необходимо умножить на число $n_{\text{де}}$ пальцев, контактирующих с растениями на этом участке. Значение $n_{\text{де}}$ равно

$$n_{\text{де}} = 2 n_{\text{тп}} S_{\text{де}} / L_{\text{тп}}, \quad (8)$$

где $n_{\text{тп}}$ – общее число пальцев на ремне транспортера;

$L_{\text{тп}}$ – общая длина ремня транспортера.

С учетом (7) и (8) получим значение равнодействующей $P_{2\text{de}}$, действующей на направляющие прутки со стороны стеблей и вызванной сжимающими усилиями p_2 со стороны пальцев:

$$P_{2\text{de}} = P_{2\text{max}} b_{\text{тп}} n_{\text{тп}} S_{\text{де}} / L_{\text{тп}}. \quad (9)$$

Согласно принципу независимости действия сил, сложив значения (6) и (9), найдем суммарное значение силы давления стеблей на направляющие прутки. Умножив полученное выражение на коэффициент $f_{\text{тп}}$ трения стеблей о направляющие прутки, определим силу F_{cde} сопротивления растений транспортированию:

$$F_{\text{cde}} = 2f_{\text{тп}} P_{2\text{de}} S_{\text{де}} + \frac{f_{\text{тп}} P_{2\text{max}} b_{\text{тп}} n_{\text{тп}} S_{\text{де}}}{L_{\text{тп}}}. \quad (10)$$

Как видно из эпюр на рисунке 4, давление $p_{2\text{max}}$ со стороны стеблей на направляющее прутки над пальцами возрастает с уменьшением угла $\xi_{\text{тп}}$. Следовательно, в правой части уравнения (10) второе слагаемое также будет возрастать с его уменьшением, а значит, будут возрастать и энергозатраты при перемещении растений. Снизить энергозатраты можно, рассчитав рациональный угол $\xi_{\text{тп}}$ установки кромки пальца к плоскости ремня. В нашем случае сопротивление транспортированию растений будет минимальным, когда давление $p_{2\text{max}}$, определяемое выражением (3), будет равно нулю, что можно записать в виде:

$$P_{\text{тп}} \cos \xi_{\text{тп}} - f_{\text{зп}} P_{\text{тп}} \sin \xi_{\text{тп}} = 0.$$

Решая данное уравнение относительно $\xi_{\text{тп}}$, найдем:

$$\xi_{\text{тп}} = \arctg(1/f_{\text{зп}}). \quad (11)$$

Из выражения (11) определяется угол наклона фронтальной кромки к плоскости ремня, при котором второе слагаемое в уравнении (10) равно нулю и, следовательно, сила F_{cde} сопротивления перемещению стеблей льна в канале транспортера наименьшая.

Выводы

В процессе исследования были выведены формулы (2) и (11) соответственно для расчета радиуса выходного шкива и угла наклона фронтальной кромки пальца к плоскости ремня, а также обоснована форма (1) направляющих прутков на выходе из канала транспортера. Расчет по данным формулам позволяет получить параметры ременно-пальцевого транспортера, при которых он качественно и с наименьшими энергозатратами выполняет технологический процесс.

18.08.2014

Литература

1. Хайлис, Г.А. Элементы теории и расчет льноуборочных машин / Г.А. Хайлис. – М: Машгиз, 1963. – 149с.: ил.

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.