

Введение

Слой льнотресты рулонного способа уборки, поступающий в мяльно-трепальный агрегат, отличается значительной спутанностью (сцепленностью) стеблей в комлевой и вершинной его частях. Утонение такого слоя применяемыми до сих пор на льнозаводах слоеформирующими машинами (ПЛ, МФС-1Л) затруднено и сопровождается изгибом стеблей [1], в результате чего уменьшается пригодность слоя к трепанию [2], что приводит к снижению выхода длинного волокна.

Для разделения стеблей в слое по комлям и вершинам перед слоеутонением в слоеформирующей машине предложен горстеобразователь [3], принцип действия которого основан на взаимодействии со слоем льнотресты двух гребенок: удерживающей и отделяющей. Удерживающая гребенка посредством кулачкового механизма совершает возвратно-поступательное движение в вертикальной плоскости с выстоем в нижнем положении, удерживая при этом зубьями слой от перемещения, а отделяющая гребенка совершает круговое движение при вертикальном расположении игл, отделяя гости льна по всей ширине слоя и перемещая к приемным дискам механизма утонения машины. Недостатком этого горстеобразователя является повышенная неравномерность формируемых горстей в результате остановки слоя удерживающей гребенкой, а также значительные динамические нагрузки на привод кулачкового механизма.

Указанные недостатки устранены в горстеобразователе [4], где вместо удерживающей гребенки применен вращающийся зубчатый диск. Функциональная схема горстеобразователя приведена на рисунке 68.

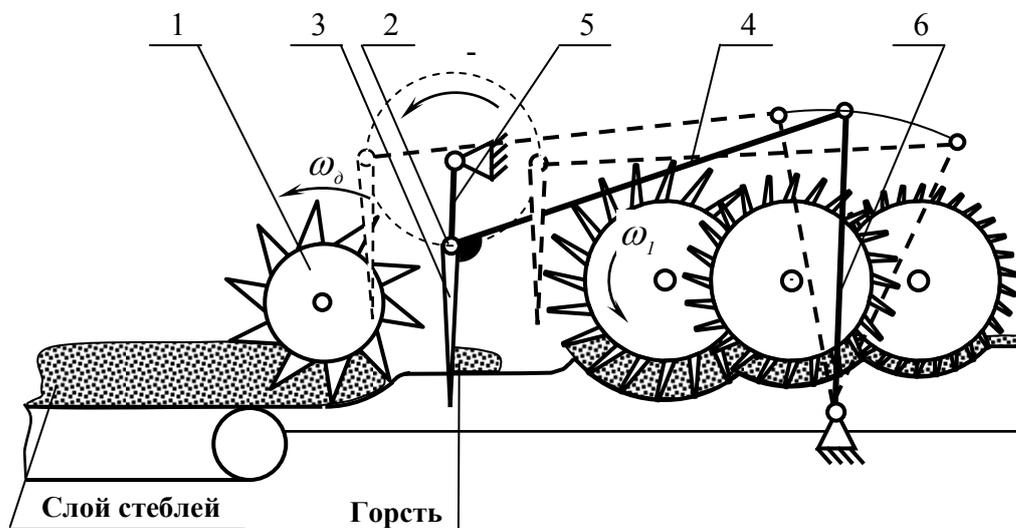


Рисунок 68 – Функциональная схема горстеотделителя

Горстеотделитель представляет собой вращающийся зубчатый диск 1, вращение которого кинематически связано с циклическим движением гребенки 2, зубья 3 которой сохраняют положение, близкое к вертикальному. Это обеспечивается жестким соединением вала гребенки с шатуном 4, шарнирно соединенным с коромыслом 6, и шарнирным соединением вала гребенки 2 с кривошипом 5. Вал гребенки совершает движение по круговой траектории. Вершины зубьев 3 гребенки при этом совершают движение по траектории, отличной от круговой. Траектория движения вершин зубьев 3 гребенки 2 зависит от вида механизма ее привода (кривошипно-коромысловый, кривошипно-ползунный [4] и т.д.), размеров звеньев и взаимного расположения стоек механизма.

Для эффективного разделения слоя льнотресты на горсти должны выполняться следующие условия:

- при повороте зубчатых дисков на угол, соответствующий углу между двумя смежными зубьями, кривошип гребенки должен совершать один полный оборот;
- траектория движения вершины зубьев гребенки должна совпадать с осевой линией зубьев дисков при их взаимном движении.

Выполнение первого условия может быть обеспечено путем подбора соответствующего передаточного числа кинематической передачи между кривошипом гребенки и валом зубчатых дисков, второго – путем расположения зубьев под определенным углом наклона.

Целью данной работы является разработка алгоритма расчета траектории вершин зубьев гребенки относительно зубчатых дисков при их взаимном движении и определение на основе этого алгоритма зависимостей для расчета угла наклона зубьев подающего диска – наиболее важного из его геометрических параметров. Под углом наклона зубьев дисков в слоеформирующих машинах понимают наименьший угол, образованный осевой линией зуба и радиусом диска с вершиной в точке их пересечения на окружности впадин диска. В качестве осевой линии зуба принимают участок траектории вершины зуба гребенки, ограниченный радиусами вершин и впадин диска, считая его из-за незначительной кривизны отрезком прямой.

Объекты и методы исследований

Объектом исследований является горстеотделитель слоеформирующей машины, в частности, взаимное движение его рабочих органов – зубчатых дисков и отделяющей гребенки.

Исследования проводились методами аналитической геометрии, геометро-кинематического анализа рычажных механизмов, применяемых в теории механизмов и машин, с использованием элементов программирования на языке VBA.

$$\varphi_3 = \arcsin \frac{Y_B}{r_\kappa}.$$

Определим координаты точки D в координатных осях $X_1O_1Y_1$. Из рисунка 69

$$\begin{aligned} X_{DO1} &= r_a \cos \phi_1 + l_\zeta \cos \phi_4; \\ Y_{DO1} &= r_a \sin \phi_1 - l_\zeta \sin \phi_4, \end{aligned} \quad (6)$$

где угол φ_4 определяется

$$\varphi_4 = \pi - (\varepsilon - \varphi_2).$$

Начальный угол φ_{0_1} определяется для одного из крайних положений кривошипа, например правого:

$$\begin{aligned} r_\kappa^2 &= (r_u + r_\varepsilon)^2 + l^2 - 2l(r_u + r_\varepsilon) \cos \varphi_{1_0}, \\ \varphi_{1_0} &= \arccos \frac{(r_u + r_\varepsilon)^2 + l^2 - r_\kappa^2}{2l(r_u + r_\varepsilon)}. \end{aligned} \quad (7)$$

Уравнения (6) есть уравнения траектории движения вершин зубьев гребенки в параметрической форме для системы координат $X_1O_1Y_1$.

Вычисление по формулам (1)–(6) и построение траектории вершины зубьев гребенки для различных параметров механизма – процесс довольно трудоемкий. Для облегчения расчетов была написана программа на языке VBA, позволяющая, кроме того, графически интерпретировать результаты вычислений. На рисунке 69 в качестве примера ее использования жирной линией показана траектория вершин зубьев гребенки, рассчитанная по изложенному алгоритму, для следующих параметров механизма: $r_\varepsilon = 100$ мм; $l_u = 500$ мм; $r_\kappa = 300$ мм; $l_\varepsilon = 200$ мм; $X_{O1O2} = 400$ мм; $Y_{O1O2} = 300$ мм; $\varepsilon = 100^\circ$. Наглядное представление о конфигурации траектории вершин зубьев позволяет выбрать рациональное взаимное расположение зубчатого диска и гребенки, обусловленное их межцентровым расстоянием.

Однако одного этого параметра недостаточно для проектирования горстеотделителя. Процесс горстеотделения наилучшим образом будет осуществляться при совпадении траектории вершины зуба гребенки с осевой линией зуба при их взаимном движении. Это достигается расположением зубьев диска с определенным наклоном в сторону, противоположную направлению вращения диска.

Рассчитаем траекторию точки D , совпадающей с вершиной зуба гребенки, на плоскость подающего зубчатого диска при их взаимном движении. На рисунке 70 диск 1 – подающий с центром O и числом зубьев Z , радиусом вершин зубьев R_ε и радиусом впадин $R_{\text{вп}}$, зубья гребенки 2 с центром вращения O_1 кривошипа 3.

Для расчетов воспользуемся методом обращения движения. Введем систему координат XOY , начало координат которой совместим с центром зубчатого диска O . Координаты оси вращения кривошипа гребенки относительно этой

системы координат будут X_{O_1} и Y_{O_1} . Будем считать подающий зубчатый диск неподвижным, системе координат $X_1O_1Y_1$ придадим вращение относительно центра O в направлении, противоположном направлению вращения зубчатого диска, а самому центру O_1 – перемещение по дуге окружности радиусом R относительно центра O :

$$R = \sqrt{X_{O_1}^2 + Y_{O_1}^2}, \quad (8)$$

с угловой скоростью, равной по величине и противоположной по направлению угловой скорости ω_0 зубчатого диска.

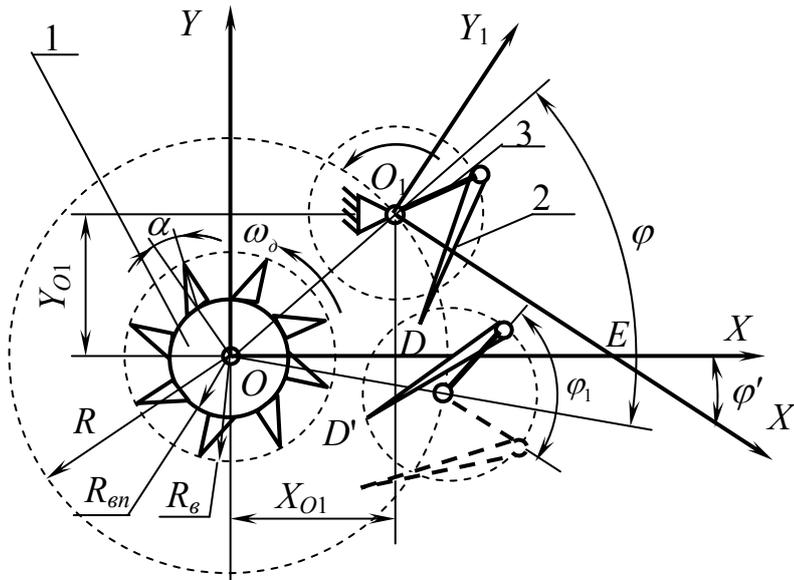


Рисунок 70 – Схема для расчета траектории вершины зуба гребенки относительно подающего диска

За промежуток времени Δt центр вращения кривошипа вместе с механизмом гребенки переместится относительно O из начального положения с координатами

$$X_0 = R \cos \phi_0;$$

$$Y_0 = R \sin \phi_0,$$

где $\phi_0 = \arctg \frac{Y_{O_1}}{X_{O_1}}$ – начальный полярный угол точки O_1 подвижной системы координат $X_1O_1Y_1$ относительно точки O неподвижной системы координат XOY по дуге окружности радиусом, равным R , на угол $\Delta \phi = -\omega_0 \cdot \Delta t$, и займет положение O'_1 .

Координаты центра вращения кривошипа будут

$$X_0 = R \cos \phi;$$

$$Y = R \sin \phi;$$

$$\phi = \phi_0 - \Delta \phi.$$

За это же время кривошип гребенки повернется в противоположном направлении от начального угла, определяемого по (7), на угол $\Delta \phi_1 = \omega_2 \cdot \Delta t$. Тогда

$$-\frac{\Delta\varphi}{\omega_0} = \frac{\Delta\varphi_1}{\omega_2}.$$

Откуда

$$\Delta\varphi_1 = -\Delta\varphi \frac{\omega_2}{\omega_0} = -\Delta\varphi u,$$

где u – передаточное число между валом зубчатых дисков и гребенкой.

Учитывая, что время одного цикла гребенки (отбора одной порции из впадины дисков) должно соответствовать времени поворота подающего зубчатого диска на угол, соответствующий угловому шагу зубьев диска, то передаточное число u между валом дисков и осью гребенки должно быть равно числу зубьев подающего диска z , т. е. $u = z$. С учетом этого (8) будет иметь вид:

$$\Delta\varphi_1 = -\Delta\varphi z \quad \text{или} \quad \Delta\varphi = -\frac{\Delta\varphi_1}{z}.$$

Тогда зависимость $\varphi_1 = f(\varphi)$ в системе координат $X_1O_1Y_1$ будет

$$\varphi_1 = \varphi_{1_0} - \Delta\varphi z = \varphi_{1_0} - (\varphi - \varphi_0)z.$$

Для определения координат точки D в системе координат XOY воспользуемся правилами преобразования координат на плоскости [6]. Так как в нашем случае подвижная система координат $X_1O_1Y_1$ совершает относительно неподвижной XOY сложное движение, то используем формулы как параллельного переноса, так и поворота системы координат, которые в нашем случае примут вид:

$$x = x' \cos \phi' - y' \sin \phi' + a;$$

$$y = x' \sin \phi' + x' \cos \phi' + b,$$

где x', y' – координаты точек механизма в системе координат $X_1O_1Y_1$;

ϕ' – текущее значение угла поворота системы координат $X_1O_1Y_1$ относительно системы координат XOY ;

a, b – текущие значения координат точки O_1 относительно O .

Из рисунка 69

$$\varphi'_0 = \arctg \frac{Y_{O_1O_2}}{X_{O_1O_2}}.$$

Из рисунка 70

$$\varphi_0 = \arctg \frac{Y_{O_1}}{X_{O_1}};$$

$$\angle OO_1E = \pi - \varphi_0 - \varphi'_0 = \text{const}.$$

Текущее значение угла между системами координат с учетом вращения системы $X_1O_1Y_1$ по часовой стрелке

$$\varphi' = \varphi - (\varphi_0 + \varphi'_0).$$

$$a = X_{O_1} = R \cos \varphi; \quad b = Y_{O_1} = R \sin \varphi.$$

Тогда текущие координаты точек O_1 , A , D относительно системы координат XOY , соответственно, будут

$$\begin{aligned} X_{O_1} &= a; \\ Y_{O_1} &= b; \\ X_{AO} &= X_{AO1} \cos \phi' - Y_{AO1} \sin \phi' + a; \\ Y_{AO} &= X_{AO1} \sin \phi' + Y_{AO1} \cos \phi' + b, \end{aligned}$$

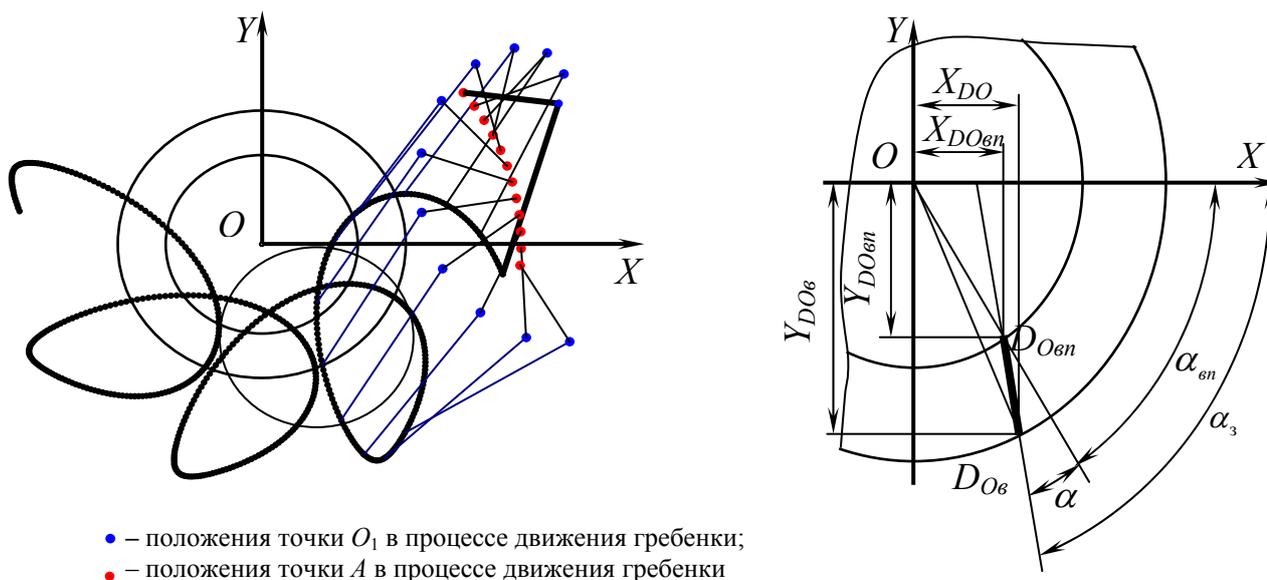
где $X_{AO1} = r_2 \cos \varphi_1$, $Y_{AO1} = r_2 \sin \varphi_1$.

$$\begin{aligned} X_{DO} &= X_{DO1} \cos(\phi_0 + \phi'_0 - \phi) - Y_{DO1} \sin(\phi_0 + \phi'_0 - \phi) + R \cos \phi; \\ Y_{DO} &= Y_{DO1} \cos(\phi_0 + \phi'_0 - \phi) + X_{DO1} \sin(\phi_0 + \phi'_0 - \phi) + R \sin \phi. \end{aligned} \quad (9)$$

Текущие координаты точек B , O_2 относительно системы координат XOY определяются аналогично.

Результаты исследований

На рисунке 71 в качестве примера показан построенный посредством описанной выше программы фрагмент траектории взаимного движения вершины зуба гребенки относительно вращающегося подающего зубчатого диска, соответствующий четырем циклам вращения кривошипа гребенки, и положения зуба гребенки относительно диска за один цикл вращения ее кривошипа с интервалом 30° . Параметры подающего зубчатого диска: число зубьев $z = 8$ (что соответствует передаточному числу между валами диска и кривошипа гребенки u), радиус вершин зубьев $R_s = 150$ мм, радиус впадин $R_{gn} = 100$ мм, взаимное расположение оси диска и стойки кривошипа гребенки определено координатами $X_{O_1} = 170$ мм, $Y_{O_1} = 220$ мм. Параметры механизма гребенки соответствуют указанным выше значениям.



- – положения точки O_1 в процессе движения гребенки;
- – положения точки A в процессе движения гребенки

Рисунок 71 – Положения гребенки и траектория вершины ее зуба относительно подающего диска при их взаимном движении

Уравнения (9) траектории вершины зуба гребенки относительно подающего зубчатого диска в их взаимном движении позволяют рассчитать угол наклона зуба подающего диска. Для этого следует определить координаты точек пересечения участка траектории, соответствующего движению вершины зуба гребенки от окружности впадин к окружности вершин зубьев подающего диска, с этими окружностями $D_{O_{en}}$ и D_{O_6} в системе координат XOY .

В общем случае координаты указанных точек находятся решением тригонометрического уравнения вида

$$X_{DO}^2(\varphi) + Y_{DO}^2(\varphi) = R^2 \quad (10)$$

относительно угла φ , после чего рассчитываются соответствующие этим углам координаты точек.

Аналитическое решение этого уравнения затруднено, так как требует многочисленных тригонометрических преобразований. Поэтому для его решения использовали приближенный метод, заключающийся в последовательном компьютерном вычислении по разработанной программе координат вершины зуба гребенки при возрастающих с определенным шагом значениях угла φ . За решение уравнения принимали минимальные значения $X_{DO_{en}}$, $Y_{DO_{en}}$ и X_{DO_6} , Y_{DO_6} , при которых соответственно выполнялись условия:

$$X_{DO_{en}}^2 + Y_{DO_{en}}^2 \geq R_{en}^2; \quad X_{DO_6}^2 + Y_{DO_6}^2 \geq R_6^2.$$

При этом из рассмотрения исключали участок траектории, соответствующий движению вершины зуба гребенки в направлении от окружности вершин зубьев к окружности впадин.

Следует отметить, что точность решения по этому методу зависит от шага изменения угла φ .

Вычислив таким образом координаты интересующих нас точек траектории, рассчитаем угол наклона осевой линии зуба подающего диска α . Из рисунка 71 видно, что

$$\alpha = \alpha_3 - \alpha_{en}, \quad (11)$$

где α_3 – угол наклона прямой, соответствующей осевой линии зуба, к оси OX , определяемый из выражения

$$\operatorname{tg} \alpha_3 = \frac{Y_{DO_6} - Y_{DO_{en}}}{X_{DO_6} - X_{DO_{en}}},$$

α_{en} – угол наклона прямой, соответствующей радиусу диска, проходящему через точку пересечения осевой линии зуба с окружностью впадин.

Определяется из выражения

$$\operatorname{tg} \alpha_{en} = \frac{Y_{DO_{en}}}{X_{DO_{en}}}.$$

В результате приближенного решения в качестве примера уравнения (10) при приведенных выше значениях параметров подающего зубчатого диска и механизма гребенки горстеотделителя получены следующие значения координат точки D , необходимые для определения угла α : $X_{D_{O_{6n}}} \approx 31$ мм; $Y_{D_{O_{6n}}} \approx 96$ мм; $X_{D_{O_6}} \approx 32$ мм; $Y_{D_{O_6}} \approx 149$ мм. Рассчитанное по (11) значение угла наклона осевой линии зуба подающего диска $\alpha \approx 17^\circ$.

Заключение

1. Изложен алгоритм расчета траектории вершины зуба гребенки относительно подающего зубчатого диска в их взаимном движении для горстеотделителя слоеформирующей машины.

2. Показано, что конфигурация участка рассчитанной траектории, соответствующего отбору горсти стеблей зубьями гребенки, определяет величину угла наклона осевой линии зуба подающего диска.

3. Получены зависимости для расчета угла наклона зубьев подающего диска от его геометрических параметров, параметров механизма гребенки и передаточного числа между валами подающих зубчатых дисков и гребенки.

4. На конкретном примере показаны результаты расчетов и их графическая интерпретация, полученные с использованием программирования по изложенному алгоритму и полученным зависимостям.

05.07.11

Литература

1. Бобровская, И.Е. Влияние сцепленности стеблей на изменение их формы в процессе формирования слоя / И.Е. Бобровская, В.Н. Перевозников, Е.В. Кислов // Инновационные направления в селекции, генетике, технологии выращивания, уборке, переработке и стандартизации технических культур: материалы Междунар. науч.-техн. конф. молодых ученых, Глухов, 2–4 дек. 2008 г. – Сумы: СОД, 2009. – С. 111-114.
2. Ипатов, А.М. Теоретические основы механической обработки стеблей лубяных культур: учеб. пособие для вузов / А.М. Ипатов. – М.: Легпромбытиздат, 1989. – 144 с.
3. Устройство для формирования слоя стеблей лубяных культур: пат. 5622 U Респ. Беларусь, МПК D 01 B 1/00 / В.М. Науменко, В.Н. Перевозников; заявитель РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства». – № и 20080900; заявл. 08.12.08; опубл. 30.10.09 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2009. – № 5. – С. 176.
4. Устройство для формирования слоя стеблей лубяных культур: пат. 7162 U Респ. Беларусь, МПК D 01 B 1/00 / И.Е. Бобровская, Н.Г. Винченко, В.В. Зыбайло, В.М. Изоитко, Е.В. Кислов, В.А. Лазюк, В.М. Науменко; заявитель РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства». – № и 20100761; заявл. 06.09.10; опубл. 30.04.11 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2011. – № 2. – С. 182.
5. Гавриленко, В.А. Теория механизмов: учеб. пособие для вузов / В.А. Гавриленко [и др.]. – М.: Высшая школа, 1973. – 511 с.
6. Бронштейн, И.Н. Справочник по математике для инженеров и учащихся вузов / И.Н. Бронштейн, К.А. Семендяев. – 13-е изд., испр. – М.: Наука, Гл. ред. физ.-мат. лит., 1986. – С. 199-200.