

## ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ БИЛА И ЛЕНТЫ ЛЬНОВОЛОКНА В ПРОЦЕССЕ ЕГО МЕХАНИЧЕСКОЙ МОДИФИКАЦИИ

С.Н. РАЗИН, Е.Л. ПАШИН

(Костромской государственной технологической университет,  
Всероссийский научно-исследовательский институт по переработке лубяных культур)

Наиболее перспективными в настоящее время считаются механические способы модификации льняного волокна. Известен способ механической модификации [1], основанный на двухстороннем трепании волокнистой ленты, которая может быть получена из короткого льняного волокна путем его кардочесания и лентоформирования. При этом рабочие органы – бильные планки – установлены на вращающихся барабанах так, что при подходе к зоне трепания они двигаются в противоположных – перпендикулярных ленте направлениях. В результате при нанесении ударов по ленте она захлестывается за кромку била. При этом в ленте и отдельных ее волокнах возникают значительные усилия.

Кроме того, за счет изгиба ленты на кромке била создаются значительные нормальные напряжения в технических волокнах, из которых она состоит. В результате многократных воздействий связи между отдельными элементарными волокнами нарушаются и под действием сил трения со стороны кромки била, а также центробежных сил инерции отдельные элементарные волокна и их комплексы отделяются от технических волокон. У отделившихся комплексов длина и линейная плотность ниже, чем у технических волокон до обработки.

Ряд задач, связанных с определением движения ленты при ее взаимодействии с бильной планкой, были решены ранее в предположении, что область контакта волокнистой ленты с бильной планкой не перемещается по кромке била [2]. Реально под действием центробежных сил, действующих на участок ленты, контактирующий с кромкой била, он должен перемещаться по кромке бильной планки в направлении от оси вращения бильных бара-

банов. Данное явление нежелательно, поскольку в случае, когда это смещение будет достаточно большим, лента может соскользнуть с бильной планки и будет обработана не полностью.

Следует отметить, что сила натяжения в сечении набегания на кромку била способствует описанному явлению, а сила натяжения в сечении сбегания – препятствует. Для предотвращения соскальзывания ленты бильную планку необходимо выполнить таким образом, чтобы в момент нанесения удара по ленте кромка била составляла с радиусом, соединяющим точку контакта с осью вращения бильных барабанов, некоторый угол  $-\delta$ . Этого можно добиться, например, путем параллельного смещения бильных планок в направлении, противоположном вращению бильного барабана на расстояние  $\Delta$ , как это описано в [1].

Зная угол  $\delta$ , рассчитаем смещение  $\Delta$  по формуле:

$$\Delta = R \sin \delta,$$

где  $R=O_1O$  – радиус била.

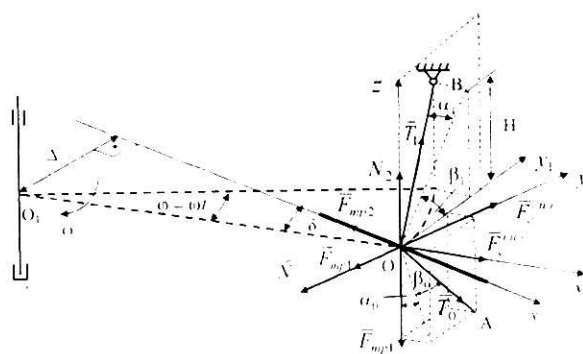


Рис. 1

Представляет интерес следующая задача: каким должен быть угол  $-\delta$  (рис.1) для

того, чтобы лента по кромке била в направлении от оси вращения бильных барабанов не двигалась. На рис. 1 показаны две системы координат. При этом ось  $x$  направлена по кромке била, а ось  $y$  перпендикулярна ей и лежит в плоскости вращения бильной планки. Оси  $x_1y_1$  повернуты вокруг оси  $z$  на угол  $\delta$  так, что ось  $x_1$  направлена по линии, соединяющей точку контакта ленты с биллом с осью вращения бильных барабанов.

Для решения поставленной задачи покажем силы, действующие на участок ленты, контактирующий с бильной планкой. При этом будем рассматривать этот участок как материальную точку с массой, равной массе контактирующего с кромкой била участка ленты. Это силы натяжения ленты в ее сечениях набегания  $T_0$  и сбегания  $T_1$  с кромки била; две составляющие реакции била на ленту  $\bar{N}_1, \bar{N}_2$  и соответствующие им силы трения  $\bar{F}'_{\text{тр}1}, \bar{F}''_{\text{тр}1}$ , а также сила трения  $\bar{F}_{\text{тр}2}$ , препятствующая движению ленты в положительном направлении оси  $x$ .

Поскольку система координат  $Oxyz$ , вращающаяся вместе с биллом, не является инерциальной, то кроме активных сил и сил реакций приложим к точке перенос-

ную  $\bar{F}_e^{(и)}$  и Кориолисову  $\bar{F}_c^{(и)}$  силы инерции.

Дифференциальное уравнение относительного движения рассматриваемой точки в проекции на ось  $x$  примет вид:

$$m a_x = T_{0x} + T_{1x} - F_{\text{тр}2} + F_e^{(и)} \cos \delta_1. \quad (1)$$

Определим величины, входящие в правую часть уравнения (1). Направление силы  $T_1$  можно определить с помощью двух углов  $\alpha_1$  и  $\beta_1$ , которые можно найти как функции времени  $t$  и перемещения  $x$  по формулам:

$$\alpha_1 = \arcsin \left[ \frac{R(1 - \cos \omega t) + x \cos \delta}{\ell} \right], \quad (2)$$

$$\beta_1 = \arctg \left[ \frac{H}{R \sin \omega t + x \sin \delta} \right], \quad (3)$$

где  $R$  – радиус била;  $H$  – расстояние от точки зажима ленты до плоскости движения бильной планки;  $x$  – перемещение точки контакта по кромке била;  $\omega$  – угловая скорость вращения бильной планки.

Длину участка ленты  $BO$  рассчитаем по выражению

$$\ell = \sqrt{\left( 2R \sin \frac{\omega t}{2} \right)^2 + x^2 + 4Rx \sin \frac{\omega t}{2} \sin \left( \frac{\omega t}{2} + \delta \right) + H^2}.$$

Тогда:

$$T_{1x1} = -T_1 \sin \alpha_1; \quad T_{1y1} = T_1 \cos \alpha_1 \cos \beta_1.$$

Для определения искомых проекций воспользуемся формулами перехода от осей  $Ox_1y_1$  к осям  $Oxy$ :

$$x = x_1 \cos \delta - y_1 \sin \delta,$$

$$y = x_1 \sin \delta + y_1 \cos \delta.$$

Получим:

$$T_{1x} = -T_1 (\sin \alpha_1 \cos \delta + \cos \alpha_1 \cos \beta_1 \sin \delta).$$

Аналогично определим проекцию на ось  $x$  силы натяжения в сечении набегания на кромку била:

$$T_{0x1} = T_0 \cos \beta_0 \sin \alpha_0, \quad T_{0y1} = T_0 \sin \beta_0,$$

$$T_{0x} = T_0 (\sin \alpha_0 \cos \beta_0 \cos \delta - \sin \beta_0 \sin \delta).$$

Закон изменения углов  $\alpha_0, \beta_0$  найдем, воспользовавшись уравнениями движения захлестываемого участка ленты  $OA$ , полученными в [2]. Аппроксимируя законы изменения углов  $\alpha_0, \beta_0$  при  $R = 0,35$  м;  $\omega = 200$  с<sup>-1</sup>;  $H = 0,035$  м;  $L = 0,06$  м уравнениями вида:

$$\alpha_0 = a_0 + a_1 t^{1,2} + a_2 (-t + 0,000364)^{-0,3};$$

$$\beta_0 = b_1 t + b_2 t^2,$$

получим следующие значения коэффициентов:

$$a_0 = -0,645; \quad a_1 = -3300; \quad a_2 = 0,06;$$

$$b_1 = 2300; \quad b_2 = 4700000.$$

Силы натяжения в сечениях набегания  $T_0$  и сбегания  $T_1$  с кромки била можно определить по формулам [3], которые для случая однородной по линейной плотности ленты примут вид:

$$T_0 = m_1 (\dot{\varphi}^2 OA + a_r^\tau) / 2,$$

$$T_1 = T_0 e^{f\varphi} + \frac{\gamma (ra_r^\tau - fv_r^2)}{f} (e^{f\varphi} - 1).$$

Здесь  $m_1$  – масса участка ленты  $OA$ ;  $v_r, a_r^\tau$  – соответственно относительные касательная скорость и ускорение, которые равны соответственно первой и второй производной от длины захлестываемого участка  $OA = L - \ell$ ;  $f$  – коэффициент трения;  $\varphi$  – угол охвата;  $L$  – общая длина ленты.

Переносная центробежная сила инерции может быть определена по формуле:

$$F_e^{(и)} = m\omega^2 \sqrt{R^2 + x^2 + 2Rx \cos \delta},$$

где масса контактирующего с билем участка ленты приближенно может быть найдена по формуле  $m \approx \gamma r (\pi/2 + \beta_0 - \beta_1)$ , поскольку угол охвата в основном определяется углами  $\beta_0$  и  $\beta_1$ , так как углы  $\alpha_0$  и  $\alpha_1$  малы. В этой формуле  $r$  – радиус закругления кромки била;  $\gamma$  – линейная плотность ленты.

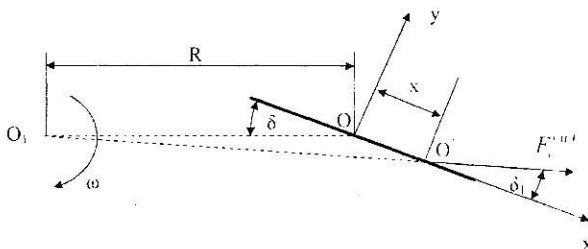


Рис. 2

На рис. 2 представлена схема для определения угла  $\delta_1$  в формуле (1). Здесь  $t.O$  – место первоначального контакта ленты с билем;  $O'$  – текущее положение точки контакта. Из представленной схемы видно, что искомый угол можно определить по формуле:

$$\delta_1 = \arccos \left( \sqrt{1 - \frac{R^2 \sin^2 \delta}{\sqrt{R^2 + x^2 + 2Rx \cos \delta}}} \right).$$

Силу трения  $F_{тр2}$  рассчитаем с помощью выражения

$$F_{тр2} = \dot{x} F_{тр1} / v_r.$$

Здесь  $\dot{x}$  – скорость движения точки контакта ленты с билем вдоль оси  $x$ ;  $v_r$  – скорость движения ленты по кромке била в вертикальном направлении.

Силу трения  $\bar{F}_{тр1} = \bar{F}'_{тр1} + \bar{F}''_{тр1}$  найдем по формуле  $F_{тр1} = T_1 - T_0 - ma_r^\tau$ .

Для решения уравнения (1) была составлена программа на языке Дельфи 7, реализующая численный метод Эйлера. Задача решалась при следующих данных:  $r = 0,001$  м;  $\gamma = 0,012$  кг/м; значения параметров  $L, R, H, \omega$  приведены выше.

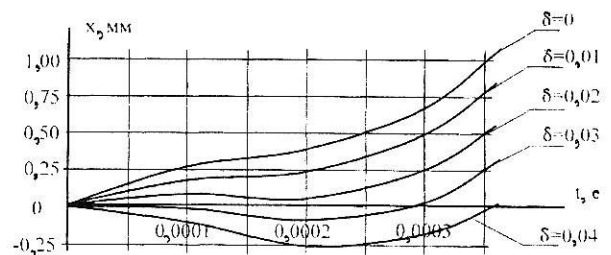


Рис. 3

Результаты решения представлены на рис. 3 – закон движения точки контакта ленты с билем.

Анализируя полученные графики, можно сделать следующие выводы.

1. Смещение точки контакта ленты с кромкой била имеет место при любом значении угла  $\delta$ .

2. Смещение точки контакта ленты с кромкой била за время захлестывания незначительно и при угле  $\delta = 0$  составляет 1,14 мм.

3. При смещении бильной планки в направлении, противоположном направлению вращения бильного барабана на расстояние  $\Delta \approx 14$  мм, при котором угол  $\delta = 0,04$  рад, в момент окончания процесса захлестывания смещение точки контакта близко к нулю.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Пат. №2225465. Россия, МПК D 01 G 1/00, 37/00. Устройство для штапелирования льняного волокна в ленте / Пашин Е.Л., Разин С.Н. –Опубл. 2004. Бюл. №7.

2. *Разин С.Н.* // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2003, №2. С.24...29.

3. *Разин С.Н.* // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2004, №5. С.25...27.

Рекомендована кафедрой теории механизмов и сопротивления материалов КГТУ. Поступила 22.12.04.