

УДК 677.051

ИЗУЧЕНИЕ ПРОЦЕССА ЗАХЛЕСТЫВАНИЯ ВОЛОКНА ЗА БИЛЬНУЮ ПЛАНКУ БАРАБАНА В ПРОЦЕССЕ ТРЕПАНИЯ

Р.В. КОРАБЕЛЬНИКОВ, Э.В. НОВИКОВ

(Костромской государственный технологический университет)

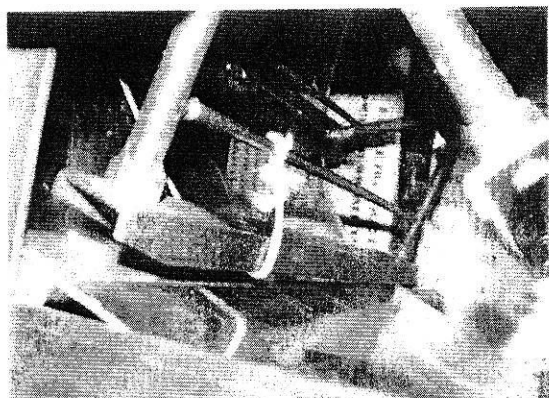
Процесс трепания льняного волокна во многом зависит от его натяжения. Натяжение волокна при обработке способствует эффективному удалению костры. Натянутое состояние волокна является следствием захлестывания свободных концов прядей за бильную планку и подбильную решетку барабана.

Захлестывание концов волокна может быть опасным и полезным. Полезным захлестыванием можно назвать такое захлестывание, при котором материал не полностью обхватывает бильную планку или подбильную решетку, при этом исключается возможность защемления материала и его выдергивания из зажимного транспортера. Опасное захлестывание – то, при котором волокно полностью обхватит бильную планку, то есть при угле обхвата 180° . При таком захлестывании может произойти выдергивание материала из зажима, его обрыв или повреждение его кончиков, например, их обсечка. Очевидно, что если не

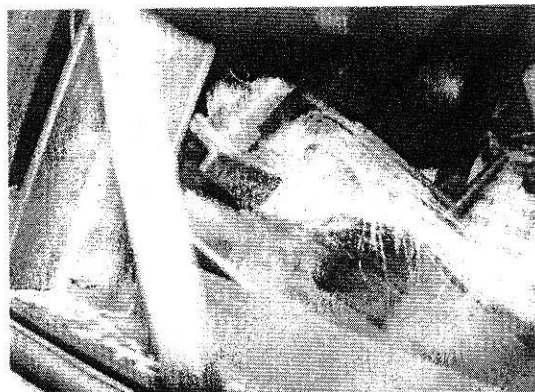
допускать опасного захлестывания, то можно избежать снижения количества и качества длинного волокна. Из сказанного следует, что изучение процесса захлестывания волокна за кромку бильной планки является актуальной задачей.

Изучением процесса захлестывания волокна за бильные планки трепальных барабанов занимались многие ученые, однако в научной литературе нет рекомендаций, в каком случае будет наблюдаться опасное захлестывание, а в каком – оно технологически необходимо, то есть будет иметь место полезное захлестывание. В принципе этим процессом необходимо управлять.

Захлестывание происходит в результате относительного вращательного движения свободной части прядки волокна. Для примера на рис.1-а показано взаимодействие ленты с билами шестибильного барабана, а на рис. 1-б – взаимодействие волокна с билами шестибильного барабана.



а)



б)

Рис. 1

На основании многочисленных фото-съемок ориентировочно определена длина захлестываемых участков волокна в зависимости от числа бил на барабанах (табл. 1). Данные таблицы получены по результатам динамических наблюдений с помо-

щью стробоскопа при диаметре барабана 450 мм, расстоянии подбильной решетки от бильной планки 50 мм, шаг подбильной решетки 25 мм, длина пряди, находящейся в обработке, 600 мм.

Т а б л и ц а 1

Угол поворота била от верти- кали, град	Максимальная длина захлест- нувшегося участка пряди, мм			Минимальная длина захлест- нувшегося участка пряди, мм			Опасное значение длины захлестнувшегося участка пряди, мм		
	число бил на барабане			число бил на барабане			число бил на барабане		
	2	3	6	2	3	6	2	3	6
100...120	-	-	120	-	-	-	-	-	-
120...180	350	220	-	-	-	-	-	-	70
180...200	-	-	-	-	-	40	-	70	-
200...220	-	-	-	40	40	-	70	-	-

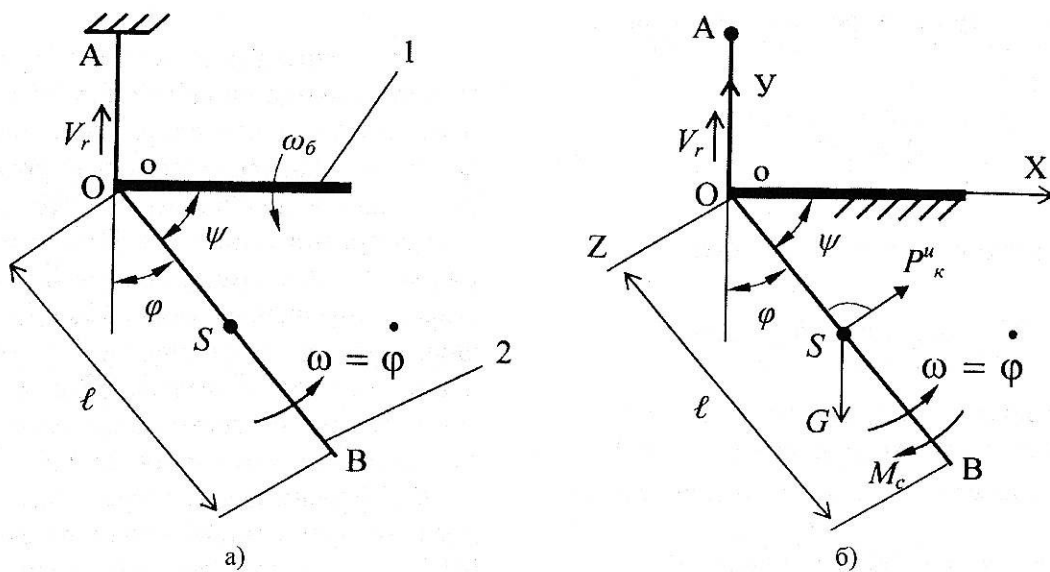


Рис. 2

Для изучения относительного вращательного движения свободного конца пряди рассмотрим схему взаимодействия била с волокном (рис.2), где 1 – било трепального барабана; 2 – прядь волокна.

С билом взаимодействует прядь длинного волокна АОВ (рис. 2-а). Конечная часть пряди, не контролируемая билом, имеет длину ℓ и центр тяжести S . В относительном движении прядь волокна перемещается относительно била со скоростью V_r . Нижняя часть ОВ по отношению к билу совершает, кроме поступательного, дополнительное вращательное движение относительно т. О. Это вращательное движение и определяет процесс захлестывания.

Остановим било и будем считать, что прядь совершает поступательные движения по отношению к билу со скоростью V_r (рис. 2-б). Проведем неподвижные оси координат с началом в т. О. Для изучения физики процесса захлестывания нижней части пряди волокна достаточно определить характер ее движения в рассматриваемой системе. Центр тяжести пряди т. S будет совершать сложное движение по плоской траектории.

Относительным движением, как отмечалось выше, назовем прямолинейное движение вдоль радиуса OS, а переносным движением будет движение т. S вместе с радиусом-вектором OS вокруг т. О. Тогда

на основании теоремы об изменении кинетического момента системы [1], [2] составим следующее дифференциальное уравнение:

$$I_{oz}\ddot{\phi} = \sum M_{oz}, \quad (1)$$

где I_{oz} – момент инерции нижней части пряжи волокна относительно оси OZ, проходящей через точку O; $\sum M_{oz}$ – сумма моментов сил, действующих на пряжу OB.

На свободную часть пряжи OB действуют следующие моменты: M_{κ}^u – момент от силы инерции Кориолиса (P_{κ}^u); M_G – момент от силы тяжести $G=mg$; M_c – момент от силы сопротивления воздуха.

Момент от силы инерции Кориолиса для нашего случая определяется по выражению

$$M_{\kappa}^u = \frac{1}{2} \ell P_{\kappa}^u, \quad (2)$$

а сила Кориолиса определится так:

$$P_{\kappa}^u = ma_{\kappa} = m2\omega V_0 = 2m\dot{\phi}V_r, \quad (3)$$

где m – масса прядки, приведенная в т. S; $\dot{\phi}$ – угловая скорость вращения пряжи; V_r – скорость движения волокна относительно била.

Момент от силы тяжести равен

$$M_G = \frac{\ell}{2} G \sin \phi = \frac{\ell}{2} mg \sin \phi, \quad (4)$$

где g – ускорение силы тяжести.

С учетом (2)...(4) выражение (1) примет вид:

$$I_{oz}\ddot{\phi} = \ell m \dot{\phi} V_r - \frac{\ell}{2} mg \sin \phi - M_c. \quad (5)$$

Представляя нижнюю часть пряжи как однородный стержень длиной ℓ и массой m , а также приняв допущение, что изгибная жесткость волокна мала, можно определить момент инерции стержня относительно оси OZ:

$$I_{oz} = m \frac{\ell^2}{3}. \quad (6)$$

Подставляя (6) в (5), получим:

$$\ddot{\phi} - \frac{3}{\ell} V_r \dot{\phi} + \frac{3}{2\ell} g \sin \phi = \frac{-3M_c}{m\ell^2}. \quad (7)$$

Если считать $V_r = \frac{d\ell}{dt} = \dot{\ell}$ и не учитывать правую часть выражения (7), то можно получить уравнение движения маятника переменной длины [3]:

$$\ddot{\phi} - 3\frac{\dot{\ell}}{\ell}\dot{\phi} + \frac{3g}{2\ell}\sin \phi = 0. \quad (8)$$

Изменение длины в уравнении (8) оказывает влияние на колебания маятника как переменное вязкое сопротивление по аналогии с дифференциальным уравнением, описывающим свободные колебания с вязким сопротивлением [3]. При уменьшении длины ℓ во времени может быть вызван эффект отрицательного затухания. В этом случае имеет место прогрессивное накопление энергии в колебательной системе, что скажется на росте амплитуды и скорости движения маятника – пряди.

Дифференциальное уравнение (7) аналогично уравнениям, полученным ранее в [4]...[6] другими методами (если не считать ошибок в формуле 2.32 [4]). Принимая во внимание [4], что момент сопротивления M_c оказывает небольшое влияние на перемещение пряжи, для анализа поведения прядки в трепальной машине сопротивлением воздуха на первом этапе пренебрегаем. Так как масса захлестнувшего конца менее 1 г, пренебрегаем также моментом от силы тяжести.

На основании этого выражение (7) примет вид:

$$\ddot{\phi} = \frac{3}{\ell} V_r \dot{\phi}. \quad (9)$$

Угловое ускорение запишем, как

$\ddot{\phi} = \frac{d\dot{\phi}}{dt}$. Тогда (8) переписывается следующим образом:

$$\frac{d\dot{\phi}}{dt} = \frac{3}{\ell} V_r \dot{\phi}. \quad (10)$$

Разделим переменные в (10) и в результате получим:

$$\frac{d\dot{\phi}}{\dot{\phi}} = \frac{3}{\ell} V_r dt. \quad (11)$$

Интегрируя (11), имеем

$$\ln \dot{\phi} = \frac{3}{\ell} V_r t + C. \quad (12)$$

Из начальных условий найдем произвольную постоянную интегрирования C при $t=0$, $\dot{\phi} = \dot{\phi}_0$. Тогда $C = \ln \dot{\phi}_0$ и будем иметь

$$\dot{\phi} = \dot{\phi}_0 e^{\frac{3}{\ell} V_r t}, \quad (13)$$

где $\ell = \ell_0 - V_r t$; ℓ_0 – начальная длина участка ОВ.

Уравнение (13) решается численным методом. Так как в процессе взаимодействия била с волокном относительная скорость скольжения бильного барабана по волокну изменяется от 0 до V_6 и, приняв по [4] $\dot{\phi} = \frac{V_6 \cos \psi}{\ell}$, то для исследуемого случая примем следующие параметры: $\ell_0 = 150$ мм; $V_r = 6$ и 8 м/с.

Результаты расчета по уравнению (12) представлены на рис.3.

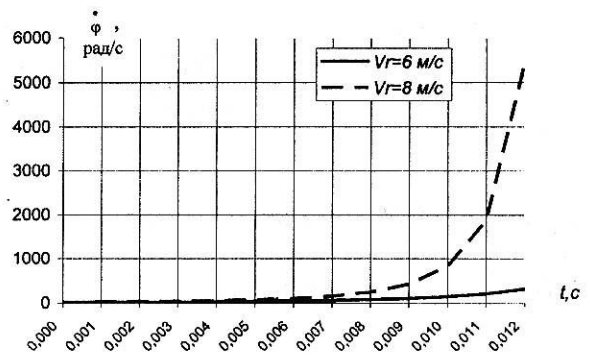


Рис. 3

Начиная с 0,01 с при $V_r = 8$ м/с угловая скорость резко возрастает. Это подтверждает вывод о том, что отрицательные значения второго члена уравнения (7) приводят к прогрессивному накоплению энергии в системе.

Для изучения того, как изменяется угол поворота пряжи волокна ϕ с течением времени, представим угловую скорость в следующем виде:

$$\dot{\phi} = \frac{d\phi}{dt}; \quad \dot{\phi}_0 = \omega_0.$$

Тогда уравнение (13) примет вид:

$$\frac{d\phi}{dt} = \omega_0 e^{\frac{3}{\ell} V_r t}. \quad (14)$$

Разделяя переменные и интегрируя, получим

$$\phi = \frac{\omega_0 \ell}{3 V_r} e^{\frac{3}{\ell} V_r t} + C_1. \quad (15)$$

Из начальных условий $t=0$, $\phi = \phi_0$, $\phi_0 = \frac{\omega_0 \ell}{3 V_r} \cdot 1 + C_1$, где ϕ_0 – начальное значение угла вращения пряжи волокна, получим значение постоянной интегрирования $C_1 = \phi_0 - \frac{\omega_0 \ell}{3 V_r}$. Тогда решением дифференциального уравнения (15) будет

$$\varphi = \frac{\omega_0 \ell}{3V_r} e^{\frac{3}{\ell} V_r t} + \varphi_0 - \frac{\omega_0 \ell}{3V_r} = \varphi_0 + \frac{\omega_0 \ell}{3V_r} \left(e^{\frac{3}{\ell} V_r t} - 1 \right), \quad (16)$$

где ω_0 – начальная угловая скорость вращения пряжи.

В случае $\varphi_0=0$ будем иметь

$$\varphi = \frac{\omega_0 \ell}{3V_r} \left(e^{\frac{3}{\ell} V_r t} - 1 \right). \quad (17)$$

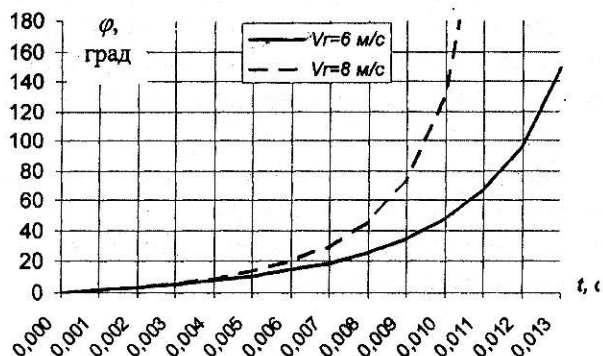


Рис. 4

На рис.4 представлена графическая зависимость угла φ по выражению (17) (при $\ell_0=150$ мм; $V_r=6$ и 8 м/с).

ВЫВОДЫ

1. Разработана математическая модель процесса захлестывания, позволяющая определять угловую скорость перемещения

свободного конца пряжи и угол поворота ее во времени. Отрицательные значения переменной длины свободного конца пряжи могут привести к прогрессивному накоплению энергии в системе било – прядь.

2. Значения угловой скорости и угла поворота пряжи позволяют рассчитать усилия натяжения пряжи волокна.

ЛИТЕРАТУРА

1. Добронравов В.В., Никитин Н.Н. Курс теоретической механики: Учебник для машиностр. спец.вузов. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Высшая школа, 1983.
2. Бать М.И., Джанелидзе Г.Ю., Кельзон А.С. Теоретическая механика в примерах и задачах. – Т. I и II. – М.: Наука, 1990.
3. Тимошенко С.П. Колебания в инженерном деле. – М.: Наука, 1967.
4. Разин С.Н., Пашин Е.Л. Теоретические основы совершенствования механической модификации льна: Монография. – Кострома: КГТУ, 2005.
5. Лапшин А.Б., Разин С.Н., Пашин Е.Л. Сила натяжения участка пряжи, захлестывающегося на бильную планку при трепании льна // Вестник КГТУ. – 2001, №3.
6. Лапшин А.Б., Пашин Е.Л. Развитие теории процесса трепания льна: Монография. – Кострома: КГТУ, 2004.

Рекомендована кафедрой технологии производства льняного волокна. Поступила 11.10.05.