

## ПРОЦЕСС ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ВОЛОКНА С КОЛОСНИКОМ ТРЕУГОЛЬНОГО ПРОФИЛЯ\*

*А.Р. КОРАБЕЛЬНИКОВ, Д.А. ЛЕБЕДЕВ, Е.И. ГРОМОВА*

**(Костромской государственной технологической университет)**

Колосниковая решетка является одним из наиболее важных элементов очистительной секции. При совместной работе с пильным цилиндром колосниковая решетка способствует выделению из волокна сорных примесей и пороков. При проектировании колосниковых решеток стремятся получить максимальную очистительную способность машины при минимальном выходе в угар или порче прядогого волокна. Для того чтобы лучше понять существо происходящих при очистке явлений (механизм соровыделения) необходимо подробно исследовать сложный процесс взаимодействия волокна с колосником. В нашей работе остановимся на рассмотрении случая взаимодействия с колосником треугольного профиля. Схожие вопросы были затронуты ранее в работах [1...6]. Здесь нами предполагается создать теоретиче-

ские предпосылки для разработки колосниковой решетки с регулируемыми параметрами.

Полное усилие динамического взаимодействия прядки волокна с колосником будет состоять из следующих составляющих: силы ударного взаимодействия приведенной массы прядки о кромку колосника, силы инерции относительного движения прядки по колоснику и центробежных сил инерции вращения свободного конца прядки.

Здесь рассмотрим метод расчета последних двух.

После начала взаимодействия с колосником прядь волокна будет совершать сложное движение. Для упрощения примем, что прядь волокна до взаимодействия с колосником движется поступательно со скоростью  $V$ .

---

\* Работа выполнена под руководством проф., докт. техн. наук Р.В. Корабельникова.

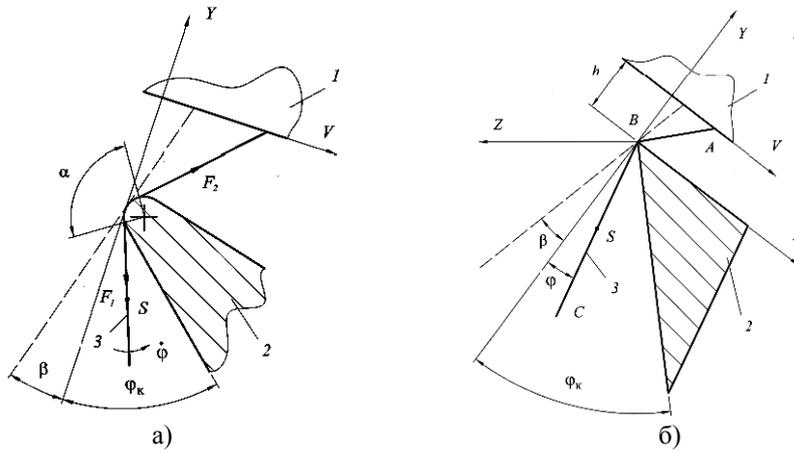


Рис. 1. Взаимодействие пряди волокна с колосником треугольного профиля:  
1 – пильный цилиндр; 2 – колосник; 3 – прядь волокна

Рассмотрим движение свободного конца пряди (BC), изменение длины которого вызвано равномерным движением конца пряди, закрепленного на пильном цилиндре в точке А (рис. 1-а). Свободный участок совершает (помимо прямолинейного движения вдоль своей оси) вращательное движение по отношению к колоснику, в результате чего происходит огибание рабочей кромки. Любой элемент пряди в участке, опирающемся на кромку колосника, скользит по ней, вращаясь относительно центра кривизны кромки. Будем полагать при этом, что движение происходит в плоскости поперечного сечения колосника (XY); упругие свойства волокон в продольном и поперечном направлениях не учитываем.

Для вывода дифференциального уравнения движения применим закон изменения момента количества движения. Подобная задача для маятника переменной длины решалась в работе [7]. Принимая во внимание, что момент аэродинамического сопротивления при огибании прядкой колосника оказывает незначительное влияние на перемещение пряди, при анализе движения им пренебрегаем [3].

В этом случае, полагая изгибную жесткость волокна малой, получим следующее дифференциальное уравнение

$$\ddot{\varphi} - \frac{2}{L} \frac{dL}{dt} \dot{\varphi} + \frac{g}{L} \sin \varphi = 0, \quad (1)$$

где  $L = BC$  – длина свободной части пряди волокна;  $\varphi$  – угол поворота пряди при движении свободного конца.

Согласно [1] текущая длина контролируемой пильным цилиндром и колосником части пряди волокна определится из выражения

$$L_T = \sqrt{V^2 t^2 + 2Vt h \operatorname{tg} \beta + \frac{h^2}{\cos^2 \beta}}, \quad (2)$$

где  $h$  – величина технологической разводки (расстояние между пильным цилиндром и колосником);  $\beta$  – угол отклонения пряди волокна от радиального направления при вращении пильного диска под действием сил аэродинамического сопротивления.

В таком случае длина свободной части пряди волокна определится как

$$L = L_B - L_T = L_B - \sqrt{V^2 t^2 + 2Vt h \operatorname{tg} \beta + \frac{h^2}{\cos^2 \beta}}, \quad (3)$$

где  $L_B$  – длина захваченной пильным цилиндром пряди волокна.

Продифференцировав выражение (2) по времени, получим относительную скорость движения пряди по колоснику, равную скорости прямолинейного движения свободного участка пряди вдоль своей оси

$$\frac{dL_T}{dt} = \frac{V^2 t + V h t g \beta}{\sqrt{V^2 t^2 + 2 V h t g \beta + \frac{h^2}{\cos^2 \beta}}}. \quad (4)$$

Относительная скорость движения пряди по колоснику согласно [1] изменяется от нуля (при  $t=0$ ) до максимального значения (при  $L_T = L_B$ ) за время, которое можно найти из следующей зависимости

$$t = \frac{\sqrt{L_B^2 - h^2} - h t g \beta}{V}. \quad (5)$$

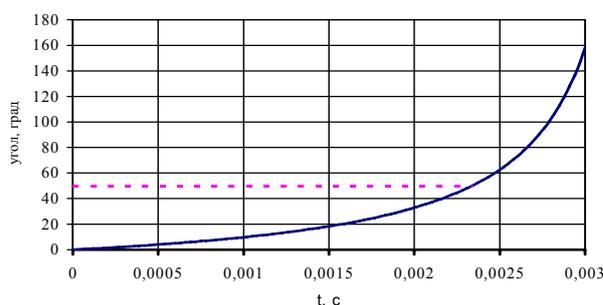


Рис. 2. Зависимость угла поворота пряди волокна  $\varphi$  от времени  $t$

При этом задавались следующие параметры системы: угол  $\beta$  примем согласно опытам постоянным и равным 25 град; технологическую разводку  $h - 1$  мм; длину волокна  $L_B - 35$  мм; скорость движения пыльного цилиндра  $V - 10$  м/с [2]. Время взаимодействия для этого случая из (5) будет равно 0,00345 с. Результаты расчетов приведены в виде графиков на рис. 2 и 3.

Поворот свободного конца пряди будет продолжаться до момента соприкосновения с передней гранью колосника. На рис. 2 этот момент соответствует точке пересечения двух графиков: графика изменения угла поворота пряди волокна  $\varphi$  от времени  $t$  и графика изменения угла установки колосника  $\varphi_k$ . Поворот свободного конца пряди происходит за время  $t=0,0024$  с (на рис. 3 это время отмечено пунктиром).

Найденные значения угловой скорости  $\dot{\varphi}$  и угла поворота  $\varphi$  пряди позволяют рассчитать усилия натяжения пряди во-

Зачтожно малый промежуток времени, в течение которого элемент пряди соприкасается с кромкой, его скорость резко изменяется. Это означает, что ускорения, действующие на элементы пряди и находящиеся на них сорные примеси, должны быть очень велики. Такое положение вещей объясняет высокую эффективность очистки волокна при взаимодействии с колосником.

Дифференциальное уравнение (1) решалось численным методом с помощью прикладного математического пакета MathCAD.

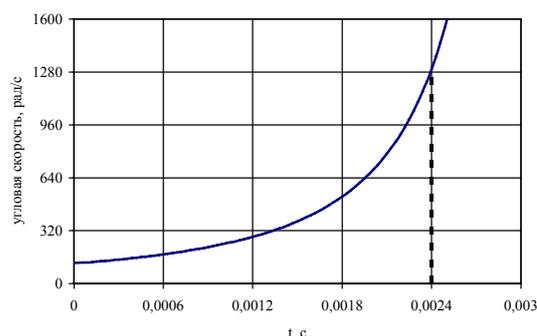


Рис. 3. Зависимость изменения угловой скорости пряди волокна  $\dot{\varphi}$  от времени  $t$

локна. Зная природу этих сил, зависимость от того или иного регулируемого фактора, можно добиваться такого их сочетания, которое позволит получить максимальный эффект очистки.

Общее натяжение в набегающем сечении пряди  $F_1$  будет складываться из натяжения от сил инерции в относительном движении –  $F_1^*$  и натяжения от центробежных сил инерции –  $F_1^{**}$  (как и в случае [3] и [8]).

Согласно данным, представленным в [1], первая искомая составляющая определится следующим образом:

$$F_1^* = T(L_B - L_T) \frac{d^2 L_T}{dt^2}, \quad (6)$$

где  $T$  – линейная плотность пряди волокна;  $\frac{d^2 L_T}{dt^2}$  – ускорение относительного движения пряди по колоснику, которое согласно [2] будет равно

$$\frac{d^2L_T}{dt^2} = \frac{V^2 h^2 \left( \frac{1}{\cos^2 \beta} - \operatorname{tg}^2 \beta \right)}{\sqrt{\left( V^2 t^2 + 2Vt h \operatorname{tg} \beta + \frac{h^2}{\cos^2 \beta} \right)^3}}. \quad (7)$$

Выражение для определения составляющей натяжения от действия центростремительных сил инерции имеет вид:

$$F_1^{**} = T(L_B - L_T) \frac{L_B - L_T}{2} \dot{\varphi}^2. \quad (8)$$

Тогда общее натяжение в набегающем сечении пряжи определится как:

$$F_1 = F_1^* + F_1^{**} = TL \left( \frac{d^2L_T}{dt^2} + \frac{L}{2} \dot{\varphi}^2 \right). \quad (9)$$

Натяжение же части пряжи волокна, находящейся между пильным цилиндром и колосником, вычисляется по формуле Эйлера

$$F_2 = F_1 e^{\mu \alpha}, \quad (10)$$

где  $\mu$  – коэффициент трения волокна по колоснику;  $\alpha$  – угол огибания волокном рабочей кромки колосника.

Угол  $\alpha$  можно определить из следующего выражения:

$$\alpha = \arccos \left( \frac{h}{L_T} \right) - \beta + \varphi. \quad (11)$$

Поскольку в выражении (9) параметры  $L$ ,  $\frac{d^2L_T}{dt^2}$  и  $\dot{\varphi}$  зависят от времени

взаимодействия, то произведем расчет величины усилия  $F_1$  при следующих значениях:  $T = 1,6 \cdot 10^{-3} \frac{\text{кг}}{\text{м}}$  (1600 текс),

$t = 0 \div 0,0024$  с (при  $t = 0,0024$  с угол поворота свободной части пряжи волокна  $\varphi$  достигает приблизительно  $50^\circ$  при угловой скорости  $\dot{\varphi}$  около 1280 рад/с).

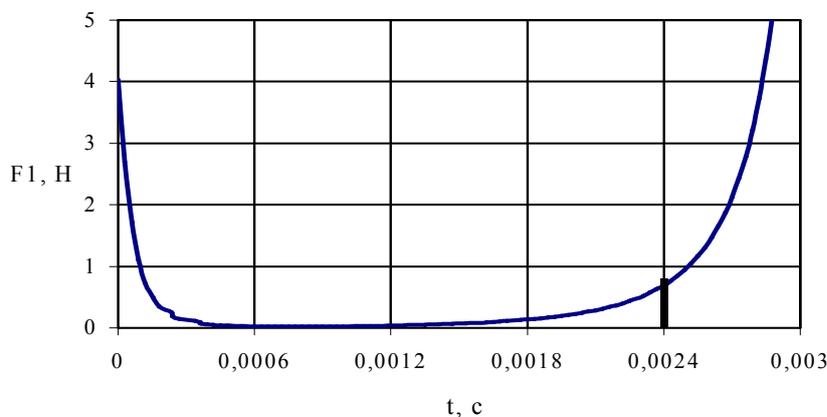


Рис. 4. Зависимость изменения натяжения  $F_1$  свободной части пряжи волокна от времени  $t$

Результаты вычислений представлены в графической форме на рис. 4.

Анализируя график действия сил на прядку волокна при взаимодействии с колосником (рис. 4) можно видеть, что общее натяжение в набегающем сечении прядки с течением времени изменяется. Это можно объяснить влиянием ускорения относительного движения пряжи по колоснику и

угловой скорости. В начальный момент времени ускорение относительного движения пряжи по колоснику будет наибольшим, а затем с увеличением времени взаимодействия оно уменьшается. На основании изложенного можно заключить следующее: изменяя угол  $\varphi_k$ , можно регулировать усилие натяжения прядки.

Таким образом, при взаимодействии с

колосником прядь волокон в результате плотного прижатия копирует профиль рабочей кромки. На фрагмент, ограниченный двумя радиальными сечениями, образующими между собой угол  $\alpha$ , участка пряди волокон, находящегося на поверхности колосника, будет действовать сила нормального давления как результирующая от действия сил натяжения пряди в набегающей  $F_1$  и сбегающей  $F_2$  ветвях:

$$N = \sqrt{F_1^2 + F_2^2 - 2F_1F_2 \cos \alpha}. \quad (12)$$

Следовательно, найденное значение силы будет составляющей полного усилия динамического взаимодействия пряди волокна с колосником. Определение величины полного усилия взаимодействия (с учетом силы ударного взаимодействия приведенной массы пряди о кромку колосника) в дальнейших исследованиях позволит более подробно изучить процессы сороудаления и дробления комплексов льняного волокна.

## ВЫВОДЫ

1. Разработана математическая модель взаимодействия пряди волокна с колосником треугольного профиля, которая описывает процесс взаимодействия пряди волокна с элементом колосниковой решетки. Представлена методика расчета основных кинетостатических параметров процесса.

2. Предложена методика, позволяющая оценить силы натяжения, действующие на элементы пряди волокна, при различных технологических и конструктивных характеристиках очистительной секции.

## ЛИТЕРАТУРА

1. *Корабельников Р.В., Корабельников А.Р.* Взаимодействие прядки волокна с колосником в пильных волоконоочистителях // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2000, № 1.
  2. *Корабельников Р.В.* Теория и практика совершенствования очистителей волокна: Монография. – Кострома: КГТУ, 2001.
  3. *Корабельников А.Р. и др.* Процесс ударного взаимодействия частицы волокна с рабочим органом // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2003, № 1.
  4. *Корабельников Р.В. и др.* Взаимодействие волокнуистой частицы с рабочим органом с учетом нелинейности восстанавливающей силы // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2003, № 2.
  5. *Разин С.Н., Пашин Е.Л.* Теоретические основы совершенствования механической модификации льна: Монография. – Кострома: КГТУ, 2005.
  6. *Лапшин А.Б., Пашин Е.Л.* Развитие теории процесса трепания льна: Монография. – Кострома: КГТУ, 2004.
  7. *Тимошенко С.П.* Колебания в инженерном деле. – М.: Наука, 1967.
  8. *Корабельников Р.В., Новиков Э.В.* Изучение захлестывания волокна за бильную планку в процессе трепания // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2005, №6.
- Рекомендована кафедрой теории механизмов и машин и проектирования текстильных машин. Поступила 21.06.2006.