

УДК 677.021

## **МЕХАНИЗМ УДАЛЕНИЯ СОРНЫХ ПРИМЕСЕЙ В ПРОЦЕССЕ ОЧИСТКИ\***

*Д.А. ЛЕБЕДЕВ, А.Р. КОРАБЕЛЬНИКОВ, Р.В. КОРАБЕЛЬНИКОВ*

**(Костромской государственный технологический университет)**

Требования к повышению эффективности очистки, в том числе и на стадии прядения, в последнее время повысились в связи с увеличением доли перерабатываемого хлопкового и короткоштапельного льняного волокна повышенной засоренности, с повышением требований к качеству пряжи и необходимостью снижения ее обрывности.

Поиск путей изыскания внутренних резервов производства и оборудования, в том числе создание новых высокоэффективных рабочих узлов и органов с обоснованием их конструктивных параметров, позволяющих интенсифицировать процесс очистки натурального короткоштапельного волокна от сорных примесей, является актуальной задачей.

---

\* Работа выполнена при поддержке гранта Федерального агентства по образованию Российской Федерации в рамках реализации целевой программы «Развитие научного потенциала высшей школы» (2009 – 2010 гг.) по разделу 2.1.2.

Как известно, все сорные примеси и пороки, находящиеся в очистительной секции, могут быть разделены на два вида: свободный сор, который может переходить в угары без дополнительной разработки пучков волокон, и связанный сор, для удаления которого необходима разработка пучков в зоне рабочего органа, в результате которой связанный сор переходит в свободный и получает возможность перехода в угары.

Реальные процессы сороудаления (обескостривания) отличаются исключительной сложностью явлений. И это объясняется непрерывным изменением не только свойств и структуры обрабатываемого материала, но и характера единичных воздействий. Здесь в качестве объекта выступает не одно волокно (пучок) с набором каких-то определенных признаков, а множество различных волокон (пучков) или лубоволокнистых комплексов, сформированных в слой переменной толщины и отличающихся друг от друга многими признаками и по-разному реагирующими на одни и те же механические воздействия. Вполне естественно, учесть все ситуации такого рода сложного процесса не представляется возможным, поэтому нами будут рассмотрены наиболее простые варианты моделей сороудаления, происходящие в одинаковых условиях, а именно без учета изменения свойств материала от одного воздействия к другому и в предположении идентичности характеристик всех пучков волокон.

Вследствие разнообразных механических воздействий на волокнистую массу со стороны рабочих органов технологических машин в процессе очистки увеличивается поверхностная площадь отдельных клочков волокон, в результате чего большая часть сорных примесей переходит из глубины волокнистого материала на поверхность и может быть удалена. Взаимосвязь изменения объемной плотности и эффективности очистки волокна хорошо показана в [1].

Ранее предпринимались попытки описания механики процесса сороочистки. Модель воздействия на сорную примесь

при ударе летучки хлопка-сырца о колосник была представлена в [2], теоретические аспекты вопроса в приложении к очистке натурального короткоштапельного волокна были рассмотрены в работах [3], [4]. Однако данные вопросы требуют более глубокого изучения.

Возможны следующие варианты связи сорных примесей или пороков волокна с волокнистой массой.

1). Сорная примесь связана с волокном только силами трения.

2). Частица сора связана с пучком волокон через упругую связь.

Рассмотрим случай столкновения пучка волокон, содержащего сор, с неподвижным рабочим органом (рис. 1 – модель воздействия на сорную примесь: 1 – сорная примесь, 2 – пучок волокна, 3 – поверхность рабочего органа).

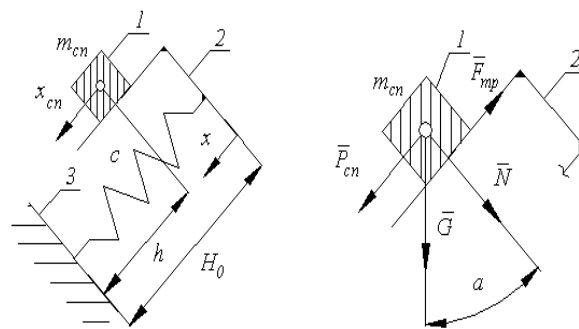


Рис. 1

При этом будем полагать, что скорость пучка волокон перед столкновением равна  $V_0$ , жесткость пучка в направлении деформации постоянная величина  $c$ , волна деформации в пучке волокон развивается мгновенно.

В [4] показано, что при исследовании процесса пучок волокон следует рассматривать как упругий элемент, обладающий массой, равномерно распределенной по длине.

Дифференциальное уравнение движения системы в данном случае принимает вид:

$$m \frac{d^2x}{dt^2} + cx = 0 \quad (1)$$

или

$$\frac{d^2x}{dt^2} + p^2x = 0,$$

где  $p$  – частота собственных колебаний пучка волокон (постоянная, зависящая от свойств системы):

$$p = \sqrt{\frac{c}{m}}; \quad (2)$$

$m$  – приведенная масса колебательной системы, равная трети общей массы пучка волокон [4]:

$$m = \frac{m_{\hat{a}}}{3}. \quad (3)$$

Решение дифференциального уравнения (1) можно представить в виде:

$$x = C_1 \sin pt + C_2 \cos pt. \quad (4)$$

Постоянные  $C_1, C_2$  определяются из начальных условий (при  $t=0$ :  $x=0, \frac{dx}{dt} = V_0$ ):

$C_1 = \frac{V_0}{p}$  и  $C_2 = 0$ , так что

$$x = \frac{V_0}{p} \sin pt. \quad (5)$$

Продифференцировав по времени (5), получим формулу, определяющую изменение скорости деформации пучка волокон во времени:

$$V = \frac{dx}{dt} = V_0 \cos pt. \quad (6)$$

Деформация и скорость деформации пучка волокон в сечении, проходящем через центр тяжести сорной примеси (т. А), будут изменяться соответственно по следующим законам:

$$x_{(\dot{\lambda})} = \frac{V_0 h}{p H_0} \sin pt \quad (7)$$

и

$$V_{(\dot{\lambda})} = \frac{dx_{(\dot{\lambda})}}{dt} = V_0 \frac{h}{H_0} \cos pt, \quad (8)$$

где  $H_0$  – толщина недеформированного пучка волокон;  $h$  – расстояние, определяющее положение сорной частицы на пучке волокон.

Полагая, что сорная примесь после столкновения пучка волокон с рабочим органом продолжает перемещаться с постоянной скоростью  $V_0$ , относительная скорость движения сора по поверхности волокна определится как

$$V_{\text{н.и.д.}} = V_0 - V_{(\dot{\lambda})} = V_0 \left( 1 - \frac{h}{H_0} \cos pt \right). \quad (9)$$

Сила инерции, действующая при этом на сорную примесь, достигает своего максимального значения в момент времени  $T$ , соответствующий наибольшему обжатию пучка волокон, и равна

$$P_{\text{н.и.д.}} = \frac{V_{\text{н.и.д.}}}{\dot{O}} = \frac{m_{\text{н.и.д.}} V_0}{\dot{O}} \left( 1 - \frac{h}{H_0} \cos pt \right), \quad (10)$$

где  $m_{\text{н.и.д.}}$  – масса сорной примеси.

Условие удаления сора с поверхности волокна запишется как

$$D_{\text{н.и.д.}} \geq f m_{\text{н.и.д.}} g \cos \alpha, \quad (11)$$

где  $f$  – коэффициент трения, учитывающий свойства поверхности волокна и сора;  $g$  – ускорение свободного падения.

Далее рассмотрим процесс удаления сора для наиболее простого случая, когда сорная примесь, находящаяся на открытой поверхности пучка волокон, имеет упругую связь с волокном.

При создании модели процесса примем следующие допущения.

1). Демпфирующими свойствами волокна пренебрегаем.

2). Жесткость связи сорной примеси с пучком волокон считаем постоянной.

3). Силами сопротивления воздуха и тяжести, действующими на волокно, также пренебрегаем.

4). Расположение сорной частицы 1 на волокне 2 может быть произвольным, однако движение частицы в результате взаимодействия пучка волокон с рабочим органом 3 полагаем прямолинейным в направлении действия ударной нагрузки.

В таком случае процесс удаления сорной примеси с поверхности пучка волокон может быть представлен следующей моделью (рис. 2 – модель воздействия на сорную примесь: 1 – сорная примесь, 2 – пучок волокна, 3 – поверхность рабочего органа).

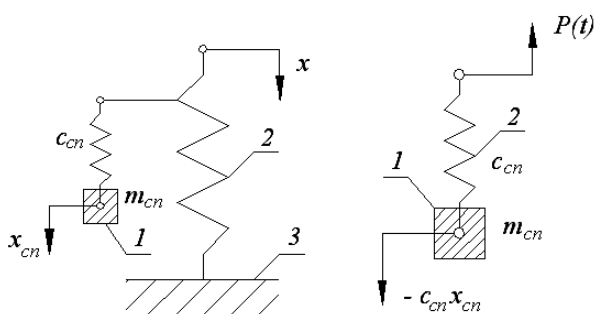


Рис. 2

Дифференциальное уравнение движения сорной примеси при взаимодействии пряди волокон с рабочим органом будет иметь вид:

$$m_{cn} \frac{d^2 x_{cn}}{dt^2} + c_{cn} x_{cn} = P(t), \quad (12)$$

где  $m_{cn}$  – масса сорной примеси;  $c_{cn}$  – коэффициент жесткости связи сорной примеси с прядью волокон;  $P(t)$  – усилие взаимодействия пучка волокон с рабочим органом.

Изменение ударной нагрузки взаимодействия пучка волокон с рабочим органом в течение времени ее нарастания с некоторым допущением можно задать законом

$$P(t) = \beta t, \quad (13)$$

где  $\beta$  – коэффициент, характеризующий темп нарастания силы ударной нагрузки,

то есть рассматривать ее как линейно нарастающую во времени (рис. 2).

В таком случае дифференциальное уравнение движения (1) запишется в виде

$$m_{cn} \frac{d^2 x_{cn}}{dt^2} + c_{cn} x_{cn} = \beta t, \quad (14)$$

которое преобразуем так:

$$\frac{d^2 x_{cn}}{dt^2} + \frac{c_{cn}}{m_{cn}} x_{cn} = \frac{\beta}{m_{cn}} t. \quad (15)$$

Общим решением неоднородного дифференциального уравнения (4) при начальных условиях (при  $t=0$ :  $x_{cn}=0$ ,  $\frac{dx_{cn}}{dt} = V_0$ ) будет

$$x_{cn} = \left( \frac{V_0}{p_{cn}} - \frac{\beta}{p_{cn} c_{cn}} \right) \sin p_{cn} t + \frac{\beta}{c_{cn}} t, \quad (16)$$

где  $p_{cn} = \sqrt{\frac{c_{cn}}{m_{cn}}}$  – частота собственных колебаний системы.

Сила, действующая на сорную примесь, определится следующим образом:

$$P_{cn} = c_{cn} x_{cn}, \quad (17)$$

или с учетом (5):

$$P_{cn} = \left( \sqrt{m_{cn} c_{cn}} V_0 - \frac{\beta \sqrt{m_{cn}}}{\sqrt{c_{cn}}} \right) \sin \sqrt{\frac{c_{cn}}{m_{cn}}} t + \beta t. \quad (18)$$

Максимальным значение силы будет в момент времени, соответствующий максимальному сжатию пучка волокон  $t=T$ , то есть

$$P_{cn \max} = \left( \sqrt{m_{cn} c_{cn}} V_0 - \frac{\beta \sqrt{m_{cn}}}{\sqrt{c_{cn}}} \right) \sin \sqrt{\frac{c_{cn}}{m_{cn}}} T + \beta T. \quad (19)$$

В случае, если  $P_{cn \max} > F_{cn}$ , где  $F_{cn}$  – сила связи сорной примеси с прядью волокон, сорная примесь будет удалена с поверхности волокна.

Коэффициент жесткости с связи сорной примеси с волокнистым материалом находится в широких пределах (от 10 до 200 Н/м) [2]. Статистика  $m$  известна. Коэффициент  $\beta$  можно определить, используя результаты экспериментальных исследований, приведенных в работах [5], [6]. При известных  $s$ ,  $m$  и  $\beta$  можно выбрать рациональный  $s$  точки зрения эффективного удаления сорных примесей скоростной режим работы очистительной секции волоконочистительной машины. Так, например, сорная примесь массой 1 мг однозначно будет удалена с поверхности пряжи волокон массой 80 мг при взаимодействии последней с поверхностью колосника со скоростью 25 м/с [6], если коэффициент жесткости связи равен 100 Н/м и сила связи сорной примеси с прядью волокон не превышает 3,73 Н.

Таким образом, представлена модель воздействия на сорную примесь и описана методика, позволяющая определить силы, действующие на сорные примеси при взаимодействии волокна с рабочим органом.

Для более точного описания процесса необходимо учитывать нелинейность изменения характеристики жесткости пучка волокон во взаимодействии.

Приведенные в работе ситуации достаточно четко выявляют наиболее характерные особенности процесса удаления сорных примесей (обескостривания), который сознательно представлен в абстрактном виде. При этом учитывались интенсив-

ность воздействий, силы связи сора с волокном и другие важные факторы.

Таким образом, в результате анализа динамики процесса разработан новый подход к моделированию процесса очистки волокнистого материала, получены динамические и математические модели взаимодействия сорных примесей с волокном, позволяющие оценить влияние основных параметров системы на эффективность процесса очистки.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. *Корабельников Р.В., Корабельников А.Р.* Теория и практика совершенствования очистителей волокна. – Кострома: КГТУ, 2001.
2. *Бурнашев Р. З.* Теоретические основы технологии очистки хлопка-сырца: Дис. ... докт. техн. наук. – Кострома, 1984.
3. *Корабельников А.Р.* // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2005, № 2.
4. *Лебедев Д.А.* Модель воздействия на сорную примесь при ударе пряжи волокна о рабочий орган // Сб. научн. тр. молодых ученых КГТУ. Вып. 6. – Кострома: КГТУ, 2005.
5. *Бурнашев Р.З. и др.* Экспериментальное исследование ударного взаимодействия летучек хлопка-сырца с колосниками очистителя крупного сора // Хлопковая промышленность. – 1980, № 1.
6. *Лебедев Д. А.* Экспериментальное исследование процесса ударного взаимодействия пряжки волокна с рабочим органом очистителя // Вестник КГТУ. – Кострома, 2003, № 7.

Рекомендована кафедрой теории механизмов и машин и проектирования текстильных машин. Поступила 06.02.09.