

## ДВИЖЕНИЕ СОРНЫХ ПРИМЕСЕЙ, ПУХА И ВОЛОКОН В УЗЛЕ ПРИЕМНОГО БАРАБАНА КАРДОЧЕСАЛЬНОЙ МАШИНЫ

Г.Н. ГОРЬКОВ, С.Д. БЕЛОГОЛОВЦЕВ, А.А. ВИНОГРАДОВ, А.Г. ГОРЬКОВА

(Ивановская государственная текстильная академия)

Присутствующие в волокнистом материале сорные примеси и пыль характеризуются тремя формами закрепления: свободная, слабо закрепленная с волокнами и прочно скрепленная с волокнами. В результате – извлечь всю массу сорных примесей и пыли на стадии рыхления и очистки волокна невозможно. Условия, необходимые для выделения сора и пыли из волокнистого материала, должны быть различными.

В современной технологии применяются многие способы очистки и обеспыливания волокон, основанные на использовании самых разных сил и приемов на волокнистый материал и его компоненты [1].

Инерционно-аэродинамическая сепарация компонентов волокнистого материала заключается в выделении из потока разьединенного волокнистого материала таких частиц, скорость витания которых отлична от скорости витания волокон и их групп [2].

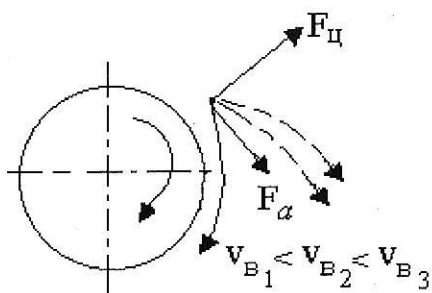


Рис. 1

Представим частицу, находящуюся во вращательном движении вблизи барабана в момент отделения ее от его поверхности (рис. 1 – инерционно-аэродинамическая сепарация материала).

На частицу действуют в основном центробежная сила инерции  $F_{ц}$  и аэродинами-

ческая сила  $F_a$  со стороны воздушного потока, сопутствующего вращению барабана и стремящегося перемещать частицу по окружности. Центробежная сила направлена по нормали к мгновенной траектории частицы.

В начальный момент отделения частицы от барабана ее скорость близка к линейной скорости барабана и соотношение действующих на частицу сил определяется следующим образом:

$$F_{ц} / F_a = 2mv^2 / (rC_x S \rho v^2) = 2m / (rS_x S_p), \quad (1)$$

где  $m$  – масса частицы;  $v$  и  $r$  – соответственно линейная скорость и радиус барабана;  $C_x$  – аэродинамический коэффициент лобового сопротивления частицы;  $S$  – площадь Мидилиева сечения частицы;  $\rho$  – плотность воздуха.

Скорость витания частицы определяется выражением

$$v = \sqrt{2mg / (C_x S_p)}, \quad (2)$$

где  $g$  – ускорение свободного падения.

Умножением правой части соотношения (1) на произведение  $rg$  получаем подкоренное выражение формулы (2). Следовательно, соотношение основных действующих сил согласно соотношению (1) пропорционально квадрату скорости витания частицы, а траектория ее движения формируется как функция  $v_B$ :

$$F_{ц} / F_a \approx v_B^2.$$

Используя разницу скоростей витания и соответственно траектории полета частиц, можно производить очистку волокни-

стого материала от посторонних примесей. Для этого необходимо располагать данными о скоростях витания основных компонентов хлопковых смесей: хлопковых во-

локон, их групп, сора, битого семени, кожицы с волокном, узелков и пыли различных фракций (табл. 1).

Таблица 1

Компонент смеси	Размер частиц, мм	Среднее значение скорости витания, м/с	Доверительный интервал среднего значения при вероятности 0,95
Сор	-	0,543	0,455...0,631
Битое семя	более 1	0,44	0,408...0,472
Кожица с волокном	менее 1	0,416	0,374...0,452
Узелки	-	0,12	0,115...0,125
Группа из 8 волокон	-	0,10	-
Одиночное волокно	25	0,06	-
Хлопковая пыль	0,03...0,06	0,05...0,11	-
	более 0,06...0,7	более 0,11	
	менее 0,02...0,3	менее 0,05	

По способу инерционно-аэродинамической сепарации построены многие устройства для очистки волокнистого материала, в частности, узел приемного барабана чесальных машин, устройства для сорочистки в зоне расчесывающего валика прядильных головок на современных пневмомеханических прядильных машинах, устройства для очистки волокнистого материала на машинах разрыхлительно-трепального агрегата.

Предположим, что движение воздуха между приемным барабаном и кожухом является турбулентным, плоским.

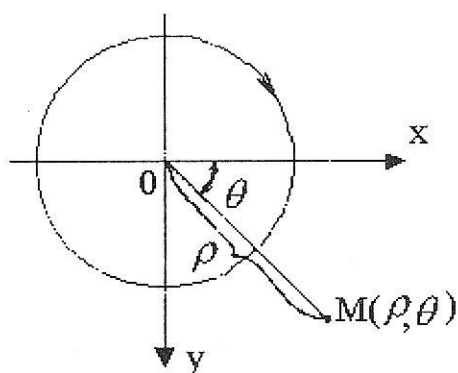


Рис. 2

В плоскости поперечного сечения барабана (рис. 2) выберем декартовую систему координат: начало поместим на ось вращения барабана; ось  $O_x$  направим горизонтально (слева направо); ось  $O_y$  – вертикально вниз; барабан вращается по часовой

стрелке. Вместе с декартовой системой координат введем полярную: полюс  $O$ , совпадающий с началом декартовых координат; начальная ось – с осью  $O_x$ ; угол  $\theta$  отмеряем по часовой стрелке от начальной оси;  $(\rho, \theta)$  – полярные координаты точки.

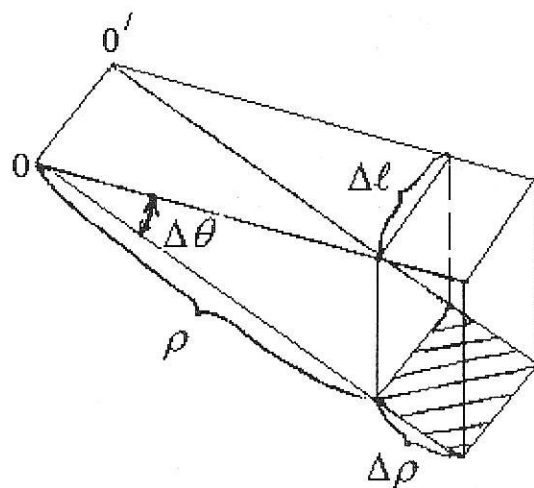


Рис. 3

Выделим элемент площади  $[\rho, \rho + \Delta\rho]$ ;  $[\theta, \theta + \Delta\theta]$  и соответствующий элемент объема – прямой цилиндр с этой поперечной площадью и высотой  $\Delta\ell$  (рис. 3):

$$\Delta V = \rho \Delta\theta \Delta\rho \Delta\ell.$$

Сила вязкости, действующая на поверхность  $\Delta S_1$  этого объема, находящуюся на расстоянии  $\rho$  от полюса, направлена по

касательной в сторону вращения барабана и равна

$$F_{B_1} = \tau \Delta S_1 = \tau \rho \Delta \theta \Delta \ell,$$

где  $\tau = \eta \left( \frac{\partial v}{\partial \rho} \right)^2$  – касательное напряжение в турбулентном потоке;  $\eta$  – коэффициент вязкости воздуха.

Сила вязкости, действующая на поверхность  $\Delta S_2$  этого объема, находящуюся

на расстоянии  $\rho + \Delta \rho$  от полюса, направлена по касательной против вращения барабана и равна

$$F_{B_2} = \tau \Delta S_2 = \tau (\rho + \Delta \rho) \Delta \theta \Delta \ell.$$

При установившемся режиме  $F_{B_1} - F_{B_2} = 0$ , то есть

$$\begin{aligned} \eta \left( \frac{\partial v}{\partial \rho} \Big|_{\rho} \right)^2 \rho \Delta \theta \Delta \ell - \eta \left( \frac{\partial v}{\partial \rho} \Big|_{\rho + \Delta \rho} \right)^2 (\rho + \Delta \rho) \Delta \theta \Delta \ell &= 0, \\ \rho \left[ \left( \frac{\partial v}{\partial \rho} \Big|_{\rho + \Delta \rho} \right)^2 - \left( \frac{\partial v}{\partial \rho} \Big|_{\rho} \right)^2 \right] &= - \left( \frac{\partial v}{\partial \rho} \Big|_{\rho + \Delta \rho} \right)^2 \Delta \rho, \\ \rho \left[ \left( \frac{\partial v}{\partial \rho} \Big|_{\rho + \Delta \rho} \right) - \left( \frac{\partial v}{\partial \rho} \Big|_{\rho} \right) \right] \left[ \left( \frac{\partial v}{\partial \rho} \Big|_{\rho + \Delta \rho} \right) + \left( \frac{\partial v}{\partial \rho} \Big|_{\rho} \right) \right] &= - \left( \frac{\partial v}{\partial \rho} \Big|_{\rho + \Delta \rho} \right)^2 \Delta \rho. \end{aligned}$$

При  $\Delta \rho \rightarrow 0$  имеем

$$\rho \frac{\partial^2 v}{\partial \rho^2} \cdot 2 \frac{\partial v}{\partial \rho} = - \left( \frac{\partial v}{\partial \rho} \right)^2,$$

$$\frac{\partial^2 v}{\partial \rho^2} = - \frac{\frac{\partial v}{\partial \rho}}{2\rho}.$$

Введем новую переменную  $p = \frac{\partial v}{\partial \rho}$ . То-

гда

$$\frac{\partial^2 v}{\partial \rho^2} = \frac{\partial p}{\partial \rho}, \quad \frac{\partial p}{\partial \rho} = - \frac{p}{2\rho}, \quad \frac{\partial p}{p} = - \frac{\partial \rho}{2\rho},$$

$$\begin{aligned} \ln p &= \ln \frac{C}{\sqrt{\rho}}, \quad p = \frac{C}{\sqrt{\rho}}, \quad \frac{\partial v}{\partial \rho} = \frac{C}{\sqrt{\rho}}, \\ v &= 2C\sqrt{\rho} + C_2. \end{aligned}$$

Граничные условия  $v(R) = 0, v(r) = v_1$ .

$$\begin{aligned} 0 &= 2C\sqrt{R} + C_2, \quad C_2 = -2C\sqrt{R}, \\ v &= 2C(\sqrt{\rho} - \sqrt{R}), \quad v = 2C\sqrt{R}, \\ v_1 &= 2C(\sqrt{r} - \sqrt{R}), \\ 2C &= - \frac{v_1}{\sqrt{R} - \sqrt{r}}, \\ v &= \frac{v_1}{\sqrt{R} - \sqrt{r}} (\sqrt{R} - \sqrt{\rho}). \end{aligned} \quad (3)$$

Формула (3) представляет зависимость средней скорости турбулентного потока воздуха от  $\rho$ .

Пусть  $p(\rho)$  – давление воздуха в точке с координатой  $\rho$  в направлении к центру О. Тогда центробежная сила, действующая на выделенный элемент объема, равна

$$p(\rho + \Delta \rho) \Delta S_2 - p(\rho) \Delta S_1.$$

Под действием этой силы выделенный элемент в среднем движется по окружности, поэтому

$$p(\rho + \Delta\rho)\Delta S_2 - p(\rho)\Delta S_1 = \Delta m \frac{v^2(\rho)}{\rho},$$

где  $\Delta m = \gamma r \Delta\theta \Delta r \Delta l$ ;  $\gamma$  – плотность воздуха.

$$p(\rho + \Delta\rho)(\rho + \Delta\rho) - p(\rho)\rho = \gamma \Delta r v^2(\rho),$$

$$\rho(p(\rho + \Delta\rho) - p(\rho)) + p(\rho + \Delta\rho)\Delta\rho = \gamma \Delta r v^2(\rho).$$

При  $\Delta\rho \rightarrow 0$  имеем:

$$\rho \frac{dp}{d\rho} + p = \gamma v^2(\rho), \quad \frac{dp}{d\rho} + \frac{p}{\rho} = \gamma \frac{v^2(\rho)}{\rho}.$$

Заменим  $p = uv$ ,  $p' = u'v + uv'$ ,

$$u'v + uv' + \frac{uv}{\rho} = \frac{\gamma}{\rho} v^2(\rho),$$

$$u'v + u(v' + \frac{v}{\rho}) = \frac{\gamma}{\rho} v^2(\rho).$$

$$1) \quad v' + \frac{v}{\rho} = 0, \quad v = \frac{1}{\rho}.$$

$$2) \quad u' \frac{1}{\rho} = \frac{\gamma}{\rho} v^2(\rho), \quad u' = \gamma v^2(\rho), \quad v(\rho) \text{ из (3):}$$

$$u' = \gamma \frac{v_1^2}{(\sqrt{R} - \sqrt{r})^2} (\sqrt{R} - \sqrt{r})^2,$$

$$u = \gamma \frac{v_1^2}{(\sqrt{R} - \sqrt{r})^2} (\sqrt{R}r - \frac{4}{3}\sqrt{R}r^{3/2} + \frac{r^2}{2}) + C,$$

$$p = uv = \gamma \frac{v_1^2}{(\sqrt{R} - \sqrt{r})^2} (R - \frac{4}{3}\sqrt{R}r + \frac{r}{2}) + \frac{C}{\rho}.$$

Вектор средней скорости потока воздуха в точке  $(x, y)$ :

$$(\rho = \sqrt{x^2 + y^2}, \varphi = \arctg \frac{y}{x}) \text{ имеет коор-}$$

$$\text{динаты } \bar{V} = \left( v \cos\left(\frac{\pi}{2} + \varphi\right), v \sin\left(\frac{\pi}{2} + \varphi\right) \right),$$

где  $v$  из формулы (3).

Пусть малая частица находится в момент времени  $t$  в точке  $(x(t), y(t))$ ,  $\left(\frac{dx}{dt}, \frac{dy}{dt}\right)$  – средняя скорость такой частицы. Сама частица мала и ее скорость мало отличается от скорости потока, поэтому она не порождает завихрений, и сила, действующая на частицу, пропорциональна разности скоростей (коэффициент пропорциональности  $K$ ):

$$\begin{cases} m \frac{d^2x}{dt^2} = K \left( v \cos\left(\frac{\pi}{2} + \varphi\right) - \frac{dx}{dt} \right), \\ m \frac{d^2y}{dt^2} = K \left( v \sin\left(\frac{\pi}{2} + \varphi\right) - \frac{dy}{dt} \right) + mg. \end{cases}$$

## ВЫВОДЫ

1. Получена система уравнений, описывающих отделение соринки от волокна и ее движение в воздушном потоке.

2. Установлено, что используя способ инерционно-аэродинамической очистки волокнистого материала с учетом траектории движения соринки, можно повысить очищающую способность различных механических устройств.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Куликова З.И., Павлов Г.Г. Механизация процессов пылеудаления в хлопчатобумажном производстве. – М.: Легпромбытиздат, 1985.

2. Павлов Г.Г., Куликова З.И., Строкова Т.Н. // Текстильная промышленность. – 1979, №8. С.34...36.

Рекомендована кафедрой маркетинга. Поступила 11.05.05.