

УДК 677.08.021

**К ВОПРОСУ О ТРАНСПОРТИРОВКЕ СМЕСИ ВОЛОКОН  
С АЭРОДИНАМИЧЕСКИМ УПРАВЛЕНИЕМ**

*В.Д. ФРОЛОВ, С.Ю. КАПУСТИН, А.П. БАШКОВ*

**(Ивановская государственная текстильная академия)**

Технология транспортировки смеси волокон через вентилятор, минуя лопатки, является эффективным средством сохранения свойств волокон и позволяет управлять технологическим процессом.

пряжения, возникающие на поверхности выделенной призмы.

Горизонтальную составляющую сопротивления для выделенной призмы определим по формуле

$$dP = \sigma_n \cos(\omega / 2 - \varphi) d\lambda dz ,$$

где  $\sigma_n$  – нормальное напряжение,  $\omega$  – центральный угол цилиндрической поверхности;  $\varphi$  – угол, определяющий положение элемента на поверхности;  $d\lambda = R d\varphi$ ;  $R$  – радиус кривизны поверхности.

Для данного случая

$$\sigma = \cos^2 \varphi \chi + p ,$$

где  $\chi = R \sin(\varphi - \omega / 2)$ .

Предположим, что транспортируемый волоконвоздушный поток является несжимаемым, а на выделенный элемент действуют силы – (рис. 1-б) [1].

Запишем действующие силы в проекциях на радиальное и нормальное направления (рис. 1-б). Сумма проекций сил на радиальное направление представлена в виде

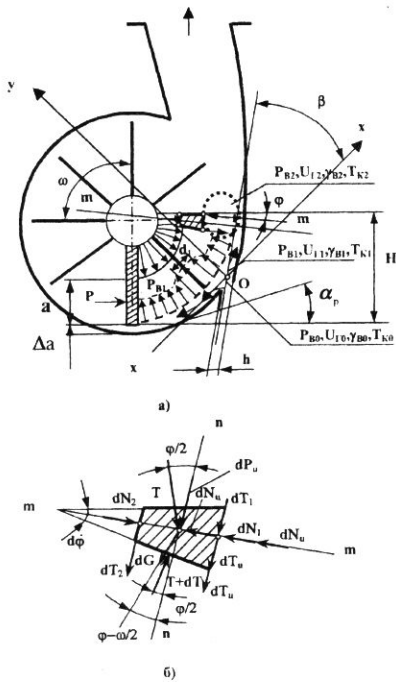


Рис. 1

Условная схема сил, действующих на элемент волоконвоздушной смеси, представлена на рис.1-а,б.

Выразим силу сопротивления через на-

$$dN_2 - dN_1 + (T + dT) \sin \frac{d\varphi}{2} + T \sin \frac{d\varphi}{2} - dN_{\text{ц}} - dN_{\text{у}} - dG \sin \left( \varphi - \frac{\omega}{2} \right) = 0 .$$

Учитывая, что

$$dN_1 \approx dN_2; \sin \frac{d\varphi}{2} \approx \frac{d\varphi}{2},$$

имеем

$$\begin{aligned} dN_{\Sigma} &= dN_{\text{ц}} + dN_{\text{у}} = \\ &= Td\varphi - dG \sin\left(\varphi - \frac{\omega}{2}\right). \end{aligned} \quad (1)$$

$$dT_2 + dT_1 + dT_{\text{у}} + dT_{\text{ц}} + T \cos \frac{d\varphi}{2} + dP_{\text{у}} + dG \cos\left(\varphi - \frac{\omega}{2}\right) - (T + dT) \cos \frac{d\varphi}{2} = 0.$$

Поскольку  $\cos \frac{d\varphi}{2} \cong 1$ , в первом приближении принимаем, что  $dT_1 \cong dT_2 \cong dT_{\tau}$ , и после необходимых преобразований получаем

$$\begin{aligned} 2dT + dT_{\text{ц}} + dT + dP_{\text{у}} + \\ + dG\left(\varphi - \frac{\omega}{2}\right) - dT = 0 \end{aligned} \quad (2)$$

Сумма сил при аэродинамическом воз-

$$2dT_{\tau} + \left[ Td\varphi - dG \sin\left(\varphi - \frac{\omega}{2}\right) \right] \text{tg}\delta + dP_{\text{у}} + dG \cos\left(\varphi - \frac{\omega}{2}\right) - dT = 0. \quad (4)$$

В (3) величина  $dG$  равна

$$dG = \gamma_{\text{рв}} aR d\varphi \Delta z, \quad (5)$$

где  $\gamma_{\text{рв}}$  – объемный вес волоконвоздушной смеси;  $a$  – толщина пучка;  $\Delta z$  – ширина пучка из волокон; величина  $R$  – функция от  $\varphi$ .

Касательная составляющая силы инерции определяется из выражения

$$dP_{\text{у}} = \frac{\gamma}{g} aR \frac{dv}{dt} d\varphi \Delta z. \quad (6)$$

$$\frac{dT}{d\varphi} - T \text{tg}\delta = 2\tau_n R \Delta z - \gamma_{\text{рв}} aR \text{tg} \sin\left(\varphi - \frac{\omega}{2}\right) \Delta z + \frac{\gamma_{\text{рв}}}{g} aR \frac{dv}{dt} \Delta z + \gamma_{\text{рв}} aR \cos\left(\varphi - \frac{\omega}{2}\right) \Delta z.$$

Нормальное давление волоконвоздушной смеси на криволинейную поверхность определим из соотношения

$$\sigma = dN_{\Sigma} / (dF), \text{ где } dF = d\varphi R_{\text{в}}.$$

Сумма проекций сил на направление нормали к радиусу

действию

$$dT_{\text{ц}} + dT_{\text{у}} = \text{tg}\delta (dN_{\text{ц}} + dN_{\text{у}}).$$

На основании выражения (1):

$$dT_{\text{ц}} + dT_{\text{у}} = T \text{tg}\delta d\varphi - dG \text{tg}\delta \sin\left(\varphi - \frac{\omega}{2}\right). \quad (3)$$

Подставив (3) в (2), получим

где  $v$  – скорость движения волокон по криволинейной поверхности, м/с.

Величину  $dT$  запишем в виде

$$dT_{\tau} = 2\tau_n R d\varphi \Delta z, \quad (7)$$

где  $\tau_n$  – касательное напряжение в плоскости сдвига.

Подставив в (4) выражения (5...7) и поделив члены на  $d\varphi$ , получим итоговое уравнение:

В первом приближении согласно [2] и [3] запишем:

$$\tau_n \cong \sin \varrho \cos \varrho \gamma_{\text{рв}} \left[ \frac{H}{2} + R \sin \left( \varphi - \frac{\omega}{2} \right) \right] + C_{\omega\text{р}};$$

$$\sigma_n \cong \cos^2 \varrho \gamma_{\text{рв}} \left[ \frac{H}{2} + R \sin \left( \varphi - \frac{\omega}{2} \right) \right] + C_{\omega\text{р}} \text{ctg} \varrho.$$

Следовательно, уравнение равновесия будет иметь вид:

$$\begin{aligned} \frac{dT}{d\varphi} - T \text{tg} \delta &= 2R \sin \varrho \cos \varrho \gamma_{\text{рв}} \left[ \frac{H}{2} + R \sin \left( \varphi - \frac{\omega}{2} \right) \right] \Delta z + 2RC_{\omega\text{р}} \Delta z - \\ &- \gamma_{\text{рв}} aR \text{tg} \delta \sin \left( \varphi - \frac{\omega}{2} \right) \Delta z + \frac{\gamma_{\text{рв}}}{g} aR \frac{dv}{dt} \Delta z + \gamma_{\text{рв}} aR \cos \left( \varphi - \frac{\omega}{2} \right) \Delta z. \end{aligned} \quad (8)$$

Граничные условия на рассматриваемой поверхности при движении комплексов волокон по лопатке вентилятора и по его кожуху следующие:

$$\begin{aligned} \tau_n &= \sigma_n \text{tg} \varrho + C_{\omega\text{р}}; \quad \tau_n = \sigma_n \text{tg} \delta + C_{\omega\text{р}}, \\ \text{при } \varphi = 0 \quad T &= P_0; \quad \text{при } \varphi = \omega \quad T = T_{\text{max}}; \\ \text{при } t = 0 \quad v &= v_0; \quad t = t_1 \quad v = v_1. \end{aligned}$$

При введении струйного сопла в т. О (рис. 1-а) дифференциальное уравнение (8) примет вид

$$\begin{aligned} \frac{dT}{d\varphi} - T \text{tg} \delta_{\text{в}} &= 2BR \sin \varrho_{\text{в}} \cos \gamma_{\text{рв}} \frac{H}{2} + 2BR^2 \sin \varrho_{\text{в}} \cos \varrho_{\text{в}} \sin \left( \varphi - \frac{\omega}{2} \right) \gamma_{\text{рв}} + \\ &+ 2RBC_{\omega\text{р}} - \gamma_{\text{рв}} aRB \text{tg} \delta \sin \left( \varphi - \frac{\omega}{2} \right) + \frac{\gamma_{\text{рв}}}{g} aRB \frac{dv}{dt} + \gamma_{\text{рв}} aRB \cos \left( \varphi - \frac{\omega}{2} \right) - \\ &- \text{tg} \delta_{\text{в}} p_{\text{в}} RB d\varphi \cos \beta + p_{\text{в}} RB H d\varphi \sin \beta, \end{aligned} \quad (9)$$

где  $\beta_{\text{в}}$  – угол между комплексами волокон;  $\delta_{\text{в}}$  – коэффициент трения между комплексами волокон и металлом;  $p_{\text{в}}$  – давление воздушной струи управления в т.О;  $a, B, H, R$  – геометрические размеры волоконвоздушной смеси;  $v$  – скорость движения волоконвоздушной смеси;  $\beta$  – угол между направлением потока воздуха и касательной.

Аналитическое решение уравнения (9) зависит от вида функции давления  $p_{\text{в}}$  и характеризуется уравнением газовой динамики:

$$\frac{p_{\text{в}}}{\gamma_{\text{в}}} = RT,$$

где  $p_{\text{в}}$  – давление воздуха;  $\gamma_{\text{в}}$  – объемная масса;  $R_0$  – газовая постоянная;  $T_{\text{к}}$  – абсолютная температура.

Величина  $p_{\text{в}}$  для нормального функцио-

нирования системы управления находится в пределах:

$$\frac{W_{\text{пр.гор}}}{C_{\text{уд}} F_{\text{отв.ср}}} \leq p_{\text{в}} \leq C_{\Gamma},$$

где  $W_{\text{пр.гор}}$  – горизонтальная составляющая силы, действующая на элемент волоконвоздушной смеси;  $C_{\text{уд}}$  – коэффициент, показывающий степень соприкосновения с поверхностью комплексов волокон;  $F_{\text{отв.ср}}$  – среднее значение площади, находящейся под действием управляющей струи;  $C_{\Gamma}$  – коэффициент сцепления между комплексами волокон.

Величину  $W_{\text{пр.гор}}$  определим в виде [3]:

$$W_{\text{пр.гор}} = \gamma_{\text{в}} \cos^2 \varrho_{\Gamma} \frac{BH^2}{2}.$$

Суммарное давление управляющей струи на выходе из отверстия определяется зависимостью

$$P = P_B + P_C + P_{T.B.},$$

$$\text{где } P_C = \xi Q_B \frac{v_B^2}{2}; P_{T.B.} = \eta \frac{v_B}{s}.$$

Здесь  $\xi$  – коэффициент сопротивления, учитывающий потери на выходе управляющей струи в процессе прохождения через транспортируемую смесь;  $Q_B$  – плотность волоконвоздушной смеси;  $v_B$  – скорость смеси;  $\eta$  – вязкость волоконвоздушной смеси;  $s$  – толщина слоя смеси.

Скорость волоконвоздушного потока на выходе из отверстия

$$v_B \cong \sqrt{\frac{2gk}{k-1} \frac{P_B}{\gamma_B} \left(1 - \frac{P_A}{P_B}\right)^{\frac{k-1}{k}}},$$

где  $k$  – показатель адиабаты;  $P_A$  – атмосферное давление.

Расход потребляемого воздуха в связи с фильтрацией транспортируемой смеси определяется аддитивной функцией:

$$Q = Q_{п.л} + Q_{\phi}.$$

Для оптимальной скорости смеси в регулируемом секторе расход воздуха определяется величиной

$$\begin{aligned} \frac{T}{\varphi} &\sim T \operatorname{tg} \delta_B \sim BR \sin \theta \cos \varphi \gamma_{pB} \frac{H}{2} \sim BR^2 \sin \left( \varphi - \frac{\omega}{2} \right) \gamma_{pB} \sim RBC_{\omega p} \sim \\ &\sim \gamma_{pB} aRB \operatorname{tg} \delta \sin \left( \varphi - \frac{\omega}{2} \right) \sim \frac{\gamma_{pB}}{g} aRB \frac{v}{t} \sim \gamma_{pB} aRB \cos \left( \varphi - \frac{\omega}{2} \right) \sim \operatorname{tg} \delta_B p_B RB \varphi \cos \beta \sim \\ &\sim p_d RB \varphi \sin \beta. \end{aligned} \quad (10)$$

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Фролов В.Д. и др. Малоотходная технология в текстильном производстве. – М.: Наука, 1996.
2. Седов Л.И. Методы подобия и размерности в механике. – М.: Наука, 1972.

$$Q_{п.л} = v_B f.$$

Здесь  $f$  – площадь выходного отверстия ( $f = bs$ ;  $b$  – ширина струи;  $s$  – толщина струи, равная  $s = k_d d_{в.п.}$ , где  $k_d$  – коэффициент, равный 0,22;  $d_{в.п.}$  – условный диаметр комплекса волокон).

Величина фильтрационных потерь определяется зависимостью

$$Q_{\phi} = \frac{p_B^2 - p_A^2}{Q_B g R_B T_K} \sqrt{\frac{k_{\phi} m \omega R}{\pi R v_{в.п.}}},$$

где  $p_B$  – давление струи управления по периметру криволинейной поверхности;  $k_{\phi}$  – коэффициент фильтрации;  $v_{в.п.}$  – скорость движения транспортируемой смеси в секторе управления;  $m$  – коэффициент пористости комплексов волокон в транспортируемом потоке.

Граничные условия в первом приближении имеют следующее значение:

$$\tau_n = \sigma_n \operatorname{tg} \varphi_B + C_{\omega p}.$$

при  $\varphi = 0$   $T = P_0$ ; при  $\varphi = \omega$   $T = T_{\max}$ ;  
при  $t = 0$   $v_{в.п.} = v_0$ ,  $t = t_1$ ,  $v_{в.п.} = v_1$ .

Исходное уравнение движения волоконвоздушной смеси при наличии аэродинамического управления запишется в форме интегральных аналогов:

3. Соколовский В.В. Статика сыпучей среды. – М.: Наука, 1976.

Рекомендована кафедрой механической технологии текстильных материалов. Поступила 20.01.03.