

УДК 677.31.08.021.16/022

**ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ
ДЕЙСТВИЯ АЭРОДИНАМИЧЕСКИХ СИЛ
НА ЖГУТ ВОЛОКНА**

С.Ю. КАПУСТИН, В.Д. ФРОЛОВ, Ф.Р. КАХРАМАНОВ

(Ивановская государственная текстильная академия)

В данной статье рассматриваются воздушные потоки, действующие на элемент жгута волокна, взаимодействующего с новым устройством [1], установленным на лентоформирующей машине [2].

Предварительно определим форму, которую примет жгут волокна под действием давления воздуха, возникающего в эллипсовидном устройстве.

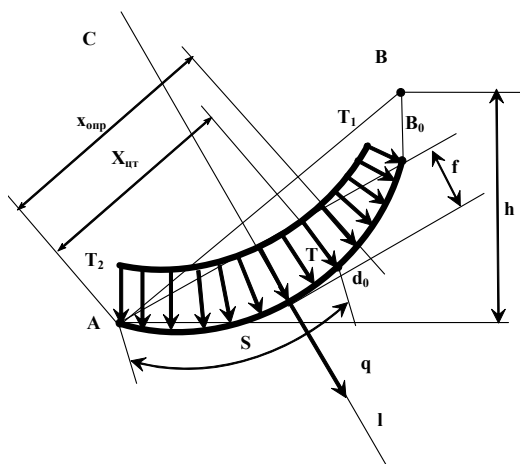


Рис. 1

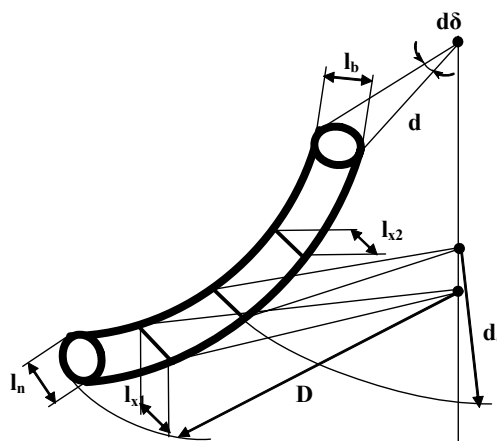


Рис. 2

Выделим элемент жгута волокна (рис.1). Действующее на него давление воздуха распределяется по поверхности жгута в соответствии с площадями. Сделаем следующие допущения: нижнее основание l_n жгута волокна больше верхнего l_b ; центр тяжести и совпадающий с ним центр давления располагаются ближе к нижнему основанию (рис.2).

Эпюра сил, действующих на жгут волокна, показана на (рис.1). Максимальный прогиб жгута волокна соответствует точке F приложения равнодействующей сил давления (рис.3).

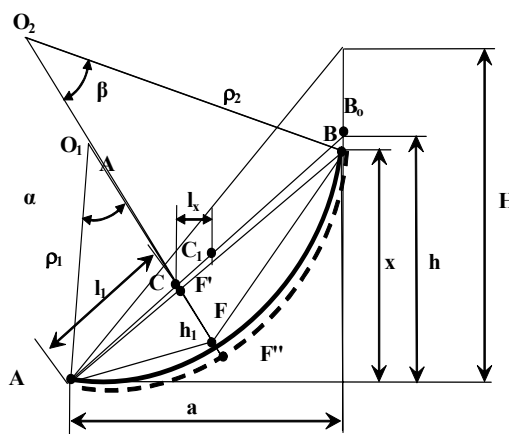


Рис. 3

Считаем, что по обе стороны от этой точки жгут волокна располагается по дугам окружности радиуса ρ_1 и ρ_2 .

На основании введенных допущений можно с достаточной степенью точности найти углы α и β дуг окружностей (рис.3), определяющих геометрию гибкого жгута волокна.

Равнодействующая q сил давления воздуха на рассматриваемый жгут волокна (рис.1) может быть найдена как сумма проекций сил на ось cl .

Обозначив центральный угол (рис.2) через $d\delta$, получим

$$\ell_{x_1} = \ell'_{x_1} d\delta, \quad (1)$$

$$Q_1 = p \int_{-\pi/2}^{\pi/2} \rho_1 \ell'_{x_1} \cos \gamma_1 d\delta d\gamma_1 + p \int_{-\pi/2}^{\pi/2} \rho_2 \ell'_{x_1} \cos \gamma_2 d\delta d\gamma_2 = \frac{\pi D^2}{4} \frac{p \sqrt{(1-\theta)^2 + \xi^2}}{1,5(1+\theta)} f(\alpha, \beta),$$

где

$$f(\alpha, \beta) = (1+2\theta) \frac{\sin \alpha}{\alpha} + \theta(2+\theta) \frac{\sin \beta}{\beta} - \frac{1-\theta}{3(1-\theta)} \left[(1+2\theta)^2 \frac{(1-\cos \alpha)}{\alpha^2} + (2+\theta)^2 \frac{(1-\cos \beta)}{\beta^2} \right]. \quad (5)$$

Представим теперь весь жгут волокна гибким. Силы, действующие на жгут волокна в этом случае (рис.4), могут быть приведены к двум силам T_1 и T_2 в местах соприкосновения с краями эллипсовидного отверстия и к силе давления воздуха на жгут волокна Q_z .

Формула для определения равнодействующей всех сил, приложенной к точке C (рис.4) жгута волокна, имеет вид

$$Q_z = \frac{\pi D^2}{4} \frac{p \sqrt{(1-\theta)^2 + \xi^2}}{1,5(1+\theta)} \left[1 - \sin^2 \left(\arctg \frac{\xi \phi}{1-\theta} \right) \right] f(\alpha, \beta). \quad (6)$$

На основании условий равновесия жгута волокна

$$T_1 = Q_z \frac{\cos \alpha}{\sin(\alpha + \beta)}, \quad T_2 = Q_z \frac{\cos \alpha}{\sin(\alpha + \beta)}. \quad (7)$$

$$\ell_{x_2} = \ell'_{x_2} d\delta, \quad (2)$$

где

$$\ell'_{x_1} = \left\{ \frac{1-\theta}{3\theta(1+\theta)} \left[(2+\theta) + (1+2\theta) \frac{\gamma_1}{\alpha} \right] + 1 \right\} d_c, \\ \ell'_{x_2} = \left[\frac{(2+\theta)(1-\theta)}{3\theta(1+\theta)} \left(1 - \frac{\gamma_2}{\beta} \right) + 1 \right] d_c. \quad (3)$$

Имея в виду, что γ_1 изменяется от нуля до α , γ_2 – от нуля до β , а δ – от $-\pi$ до $+\pi$, определим равнодействующую сил давления воздуха на гибкую часть жгута волокна, распределенную по окружности радиуса d_c (рис.2):

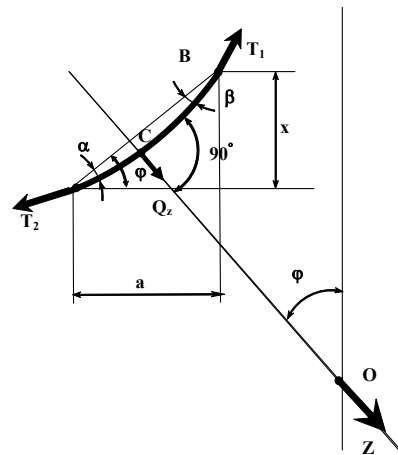


Рис. 4

Усилие T_1 со стороны гибкого жгута волокна

$$N = T_1 \sin \left(\beta \pm \arctg \frac{\xi \phi}{1-\theta} \right). \quad (8)$$

Если жгут волокна находится в нерастяннутом состоянии, центр его определяется точкой В (рис.3), располагаясь по кривой АFB, то, растянувшись, жгут волокна занимает положение АF''В, которому соответствуют новые центральные углы α и β . Вследствие растяжения жгута волокна его возможный ход изменяется до величины Н, поэтому

$$\left. \begin{aligned} \xi' &= \frac{2H}{D}, \\ \phi' &= \frac{x}{H}. \end{aligned} \right\} \quad (9)$$

Удлинение жгута волокна под действием растягивающей силы

$$\lambda = \frac{T\ell}{FE}, \quad (10)$$

$$d_x = D \left[1 - \frac{1}{3} \sqrt{(1-\theta)^2 + \xi^2} \frac{1+2\theta}{1+\theta} \right] \cos\left(\arctg \frac{\xi}{1-\theta}\right) - 2\rho_2\gamma_2 \cos\left(\arctg \frac{\xi}{1-\theta}\right). \quad (13)$$

Площадь поперечного сечения жгута волокна у рассматриваемой точки С опре-

где Т – растягивающее усилие, действующее на волокно; ℓ – длина рассматриваемого волокна; F – площадь поперечного сечения волокна; E – модуль упругости при растяжении вдоль волокон.

Рассмотрим каждую величину отдельно. Представим жгут волокна в его исходном положении (рис.3) в виде прямой АВ₀.

Для этого случая

$$\ell_1 = \frac{D}{2} \frac{\sqrt{(1-\theta)^2 + \xi^2}}{3} \frac{1+2\theta}{1+\theta}, \quad (11)$$

$$d_c = D - 2\ell_1 \cos\left(\arctg \frac{\xi}{1-\theta}\right), \quad (12)$$

деляется по формуле $F = \pi d_x \Delta$, где Δ – толщина жгута волокна.

С учетом выражения (13):

$$F = \pi \Delta \left\{ D \left[1 - \frac{1}{3} \sqrt{(1-\theta)^2 + \xi^2} \frac{1+2\theta}{1+\theta} \right] \cos\left(\arctg \frac{\xi}{1-\theta}\right) - 2\rho_2\gamma_2 \cos\left(\arctg \frac{\xi}{1-\theta}\right) \right\}. \quad (14)$$

Считая эпюру действующих на жгут волокна растягивающих усилий для участка

СВ₀ линейной, находим:

$$T = \frac{Q_z}{\sin(\alpha + \beta)} \left[\cos \alpha - \frac{\cos \alpha - \cos \beta}{\frac{D}{2} \sqrt{(1-\theta)^2 + \xi^2}} \rho_1 \alpha - \frac{\cos \alpha - \cos \beta}{\frac{D}{2} \sqrt{(1-\theta)^2 + \xi^2}} \rho_2 \gamma_1 \right]. \quad (15)$$

Имея также в виду, что

$$\lambda_{CB} = \frac{T}{FE} \int_0^\beta \rho_2 d\gamma_2,$$

$$\lambda_{CB_0} = A_1 \int_0^\beta \frac{A_2 - A_3 \gamma_2}{A_4 - \gamma_2} d\gamma_2 \quad (16)$$

или после интегрирования:

$$\lambda_{CB_0} = A_1 \left[(A_2 - A_3) \ln \frac{A_4}{A_4 - \beta} + A_3 \beta \right], \quad (17)$$

где

для участка СВ₀ жгута волокна получим

$$A_1 = \frac{Q_z}{2\pi\Delta E \left[\cos\left(\arctg\frac{\xi}{1-\theta}\right) \sin(\alpha + \beta) \right]};$$

$$A_2 = \cos\alpha - \frac{\cos\alpha - \cos\beta}{\frac{D}{2}\sqrt{(1-\theta)^2 + \xi^2}} \rho_1 \alpha;$$

$$A_3 = \frac{\cos\alpha - \cos\beta}{\frac{D}{2}\sqrt{(1-\theta)^2 + \xi^2}} \rho_2;$$

$$A_4 = \frac{D \left[1 - \frac{\sqrt{(1-\theta)^2 + \xi^2}}{3} \frac{1+2\theta}{1+\theta} \cos\left(\arctg\frac{\xi}{1-\theta}\right) \right]}{2\rho_2 \cos\left(\arctg\frac{\xi}{1-\theta}\right)}.$$

Аналогично для участка AC:

$$\lambda_{AC} = A_1 \left[(A'_3 A'_4 - A_2) \ln \frac{A'_4}{A'_4 - \alpha} + A'_3 \alpha \right], \quad (18)$$

где

$$A'_3 = \frac{\cos\alpha - \cos\beta}{\frac{D}{2}\sqrt{(1-\theta)^2 + \xi^2}} \rho_1;$$

$$\beta' = \frac{2}{3} \frac{1+2\theta}{2+\theta} \frac{(1+2\theta)^2 (\alpha')^2 - 6 \left[1 - \frac{1}{12} (\alpha')^2 \right] (2+\theta)^2}{(1+2\theta)^2 (\alpha')^2 - 4(2+\theta)^2}; \quad (20)$$

$$A'_1 = \frac{\pi D^2 \rho \sqrt{(1-\theta)^2 + \xi^2}}{4 \cdot 1,5(1+\theta)} \frac{\left[1 - \sin^2\left(\arctg\frac{\xi_0 \phi}{1-\theta}\right) \right] f(\alpha', \rho')}{2\pi\Delta E \left[\cos\left(\arctg\frac{\xi'}{1-\theta}\right) \right] \sin(\alpha' + \beta')}; \quad (21)$$

$$\lambda = A' \left\{ \left[\cos\beta' - \frac{\cos\beta' - \cos\lambda'}{\sqrt{(1-\theta) + (\xi')^2} \cos\left(\arctg\frac{\xi'}{1-\theta}\right)} \right] \times \right. \\ \left. \times \ln \frac{1}{1 - \sqrt{(1+\theta)^2 + (\xi')^2} \cos\left(\arctg\frac{\xi'}{1-\theta}\right)} + \cos\beta' - \cos\alpha' \right\}. \quad (22)$$

$$A'_4 = \frac{D \left[1 - \frac{\sqrt{(1-\theta)^2 + \xi^2}}{3} \frac{1+2\theta}{1+\theta} \cos\left(\arctg\frac{\xi}{1-\theta}\right) \right]}{2\rho_1 \cos\left(\arctg\frac{\xi}{1-\theta}\right)}.$$

Полное удлинение жгута волокна получаем, суммируя λ_{AC} и λ_{CB_0} . Длина жгута волокна после деформации определяется как сумма ее начальной длины и полного удлинения λ . В соответствии с этим находим новое значение ξ .

Подставив найденные величины в выражение (9), получим

$$\xi'_1 = \frac{\sqrt{\left(\frac{D}{2} \xi_0\right)^2 + \lambda \left[\sqrt{(1-\theta)^2 + \xi_0^2} + \lambda \right]}}{D}, \quad (19)$$

где ξ_0 – первоначальное значение, а ξ'_1 – значение параметра после деформации.

Растяжимость жгута волокна сводится к следующей последовательности вычислений:

ВЫВОДЫ

Разработанная методика позволяет прогнозировать поведение жгута волокна с учетом воздушных потоков на отверстии предложенного устройства для очистки волокна.

ЛИТЕРАТУРА

1. А.с. № 1477794 СССР. Устройство для очистки текстильных волокон/ Капустин С.Ю. и др. – Оpubл. 1989. Бюл. №17.

2. Капустин С.Ю. Усовершенствование технологии в процессе очистки длинноволокнистых материалов на лентоформирующей машине в составе поточной линии ПЛ-1-КЛ. Дис....канд. техн. наук. – Иваново: ИвТИ, 1992.

Рекомендована кафедрой механической технологии текстильных материалов. Поступила 7.11.06.
