

УДК 677.022:539.3

**НАТЯЖЕНИЕ И ПРОЧНОСТЬ ПРЯЖИ НА ПРЯДИЛЬНЫХ  
МАШИНАХ В ПОЛУГРЕБЕННОЙ СИСТЕМЕ ПРЯДЕНИЯ ШЕРСТИ**

*Н.С. СКУЛАНОВА, Е.В. МАМОНТОВА*

(Московский государственный текстильный университет им. А.Н. Косыгина)

На кольцевых и пневмомеханических прядильных машинах, крутильных машинах всех видов, включая прядильно-крутильные, в процессах сматывания и наматывания нить вращается вокруг оси и одновременно движется вдоль некоторой неизменяемой линии. В традиционном кольцевом прядении частота вращения нити достигает  $20000 \text{ мин}^{-1}$ , прядильные камеры современных пневмомеханических машин вращаются со скоростью до  $1500000 \text{ мин}^{-1}$ . При таких огромных угловых скоростях нить образует видимую поверхность вращения, называемую в текстильной промышленности "баллоном".

Задача определения формы нити при вращении вокруг оси с учетом кориолисовой силы инерции и сил сопротивления воздуха была поставлена и решена А. П. Минаковым. Эта теория довольно сложна, и многие механики упрощают задачу о "баллонировании" нити, вводя те или иные ограничения. Можно считать, что вращающаяся нить находится в равновесии относительно системы координатных осей. Тогда, применив принцип Даламбера, уравнения контурного движения вращающейся нити в декартовой системе координат можно получить из уравнений равновесия:

$$\frac{d}{ds} \left( T \frac{dx}{ds} \right) = 0, \quad \frac{d}{ds} \left( T \frac{dy}{ds} \right) = -\mu \omega^2 y, \quad (1)$$

где  $T$  – натяжение нити;  $\mu$  – линейная плотность нити;  $\omega$  – угловая скорость вращения.

Решение можно получить в аналитической форме, если считать нить достаточно пологой [1]. Примем, что длина нити  $\ell$  мало отличается от расстояния  $h$  между точками закрепления нити. Тогда угол  $\alpha$  между касательной к нити и осью вращения  $x$  является малым и производная  $y' = \text{tg} \alpha \ll 1$ . Прикладные задачи, описывающие процессы с баллонизирующими нитями на прядильных машинах, сводятся к получению дифференциальных уравнений движения баллонизирующей нити и формулировке краевых условий той или иной конкретной задачи. Для баллона наматывания нити действительна система дифференциальных уравнений и общее решение задачи для пологой вращающейся нити в виде:

$$y = \frac{1}{\omega} \sqrt{\frac{C_1 C_2}{\mu}} \sin \left( \sqrt{\frac{\mu}{C_1}} \omega x \right).$$

Для частного решения имеем граничные условия: в точке, связанной с бегунком,  $y=R$  и длина нити в баллоне  $\ell$ :

$$\ell = \int_0^h \left(1 + \frac{1}{2} y'^2\right) dx = \int_0^h \left\{1 + \frac{1}{2} \left[ \sqrt{C_2} \cos \left( \sqrt{\frac{\mu}{C_1}} \omega x \right) \right]^2 \right\} dx. \quad (2)$$

Постоянные интегрирования определяются из уравнений

$$R = \frac{1}{\omega} \sqrt{\frac{C_1 C_2}{\mu}} \sin \left( \sqrt{\frac{\mu}{C_1}} \omega h \right)$$

и

$$\ell = \left(1 + \frac{C_2}{4}\right) h + \frac{C_2}{8\omega} \sqrt{\frac{C_1}{\mu}} \sin \left( 2 \sqrt{\frac{\mu}{C_1}} \omega h \right), \quad (3)$$

где  $R$  – радиус кольца;  $h$  – высота баллона.

Последнее из уравнений (3) получено интегрированием (2). Для решения данных уравнений необходимо знать длину нити в баллоне. Стандартными методами это сделать очень трудно, поэтому воспользуемся особенностями баллона на кольцевой прядильной машине, а именно: касательная в точке входа нити в бегунок параллельна оси вращения. Тогда  $y' = 0$ , и после дифференцирования (1) получим:

$$\sqrt{C_2} \cos \left( \sqrt{\frac{\mu}{C_1}} \omega h \right) = 0,$$

откуда

$$C_1 = \frac{4\mu\omega^2 h^2}{\pi^2}.$$

Из первого уравнения системы (3) легко вычисляется произвольная постоянная  $C_2$ :

$$C_2 = \frac{\pi^2 R^2}{4h^2}.$$

Теперь без затруднений определяется натяжение нити [1]:

$$T = C_1 \left(1 + \frac{1}{2} y'^2\right), \quad (4)$$

или

$$T = \frac{4\mu\omega^2 h^2}{\pi^2} \left\{1 + \frac{1}{2} \left[ \frac{\pi^2 R^2}{4h^2} \cos^2 \left( \frac{\pi}{2h} x \right) \right] \right\}. \quad (5)$$

Натяжение в точке входа нити в бегунок при  $x=h$  равно:

$$T_6 = \frac{4\mu\omega^2 h^2}{\pi^2}. \quad (6)$$

Приведем численные расчеты натяжения пряжи линейной плотности 200 текс, вырабатываемой на кольцевой прядильной машине CF-32D фирмы Шлюмберже (Франция). При частоте вращения веретена  $n=950$  мин<sup>-1</sup>, радиусе кольца  $R=42,5$  мм, максимальной высоте баллона  $h=520$  мм получаем:

$$T_6 = 214,2 \text{ сН.}$$

В пряже, огибающей бегунок, возникает дополнительное натяжение, обусловленное трением между бегунком и пряжей. Воспользуемся формулой Эйлера для определения максимального натяжения нити между бегунком и початком [2]:

$$T_{\max} = T_6 e^{k\varphi}, \quad (7)$$

где  $k$  – коэффициент трения нити о бегунок,  $\varphi$  – угол охвата нитью бегунка. Принимая  $k=0,25$  и  $\varphi = \frac{\pi}{2}$ , окончательно получим  $T_{\max} = 317,2$  сН.

Вычисленное значение натяжения пряжи при формировании на прядильной машине не должно превышать ее прочности. На практике под механической прочностью понимается наибольшая нагрузка, которая предшествует разрушению пряжи. Кроме того, надо иметь в виду, что для расчета на прочность основной интерес представляет возможность надежной экстраполяции кривых в сторону низких значений прочности с очень малой вероятностью появления. С учетом этого и должно проводиться проектирование пряжи.

Для создания новых актуальных ассортиментов и создания внешних эффектов тканей с использованием нетрадиционных волокон (ангорская шерсть) была разработана полугребенная пряжа линейной плотности 200 текс с круткой 95 кр/м. Пряжа получена на полугребенной цепочке фирмы Шлюмберже, которая включает следующие переходы.

1. Поточная линия подготовки компонентов к кардочесанию, фирма Темафа, модель СА-6.

2. Чесальная машина, фирма Тибо.

3. Ленточная машина I переход, фирма Шлюмберже.

4. Ленточная машина II переход, фирма Шлюмберже.

5. Ленточная машина III переход, фирма Шлюмберже.

6. Ровничная рогульчатая машина, фирма Шлюмберже, мод. ВМ-14.

7. Кольцепрядильная машина, мод. CF32D.

Для обоснования технологических параметров получения полугребенной пряжи линейной плотности 200 текс с круткой 95 кр/м проведены теоретические расчеты прочности многокомпонентной пряжи с вложением нетрадиционных волокон (ангорская шерсть).

В табл.1 приведен состав смеси и свойства волокон компонентов смеси для проведения прочностных расчетов многокомпонентной полугребенной пряжи.

Т а б л и ц а 1

Компоненты смеси	Долевое содержание компонента по массе	Линейная плотность волокна, текс	Прочность волокна, сН	Удлинение волокна, %	Средняя длина волокон компонента, мм
1. Шерсть кроссбредная 58 <sup>к</sup> /56 <sup>к</sup>	0,4	0,76	21,8	27,5	75,8
2. Шерсть ангорская 48 <sup>к</sup>	0,4	1,1	17,9	20,5	110,4
3. Капроновое волокно	0,2	0,48	12,6	29,3	65

Прочность и удлинение одиночного волокна определялись на испытательной машине FM-27. Средняя длина волокон компонентов определялась на приборе Альметр. Прочностные геометрические свойства компонентов пряжи существенно различны. Методика проведения расчета была изложена ранее в [3].

Принимаем равенство деформаций всех компонентов при деформировании пряжи и проводим расчеты по определению доли каждого компонента по числу волокон, жесткости каждого компонента и определяем отношение жесткости каждого компонента к наиболее жесткому компоненту (табл.2) [3].

Т а б л и ц а 2

Компоненты смеси	Доля компонента по числу волокон	Жесткость компонента, сН	Отношение жесткости компонента к наиболее жесткому компоненту
1. Шерсть кроссбредная 58 <sup>к</sup> /56 <sup>к</sup>	0,436	6502,6	1
2. Шерсть ангорская 48 <sup>к</sup>	0,162	2628	0,404
3. Капроновое волокно	0,402	3268	0,502

Для расчета прочности наиболее жесткого первого компонента (шерсть кроссбредная 58<sup>к</sup>/56<sup>к</sup>), который разрушится первым, необходимо определить коэффициент реализации средней прочности во-

локон (k) с учетом параметров распределения Вейбулла прочности волокон.

Параметры  $\alpha$  и  $R_*$  распределения Вейбулла находятся из системы уравнений,

выражающих среднюю прочность волокон  $\bar{P}_B$  и дисперсию их прочности  $D$ :

$$\bar{P}_B = P_* \Gamma\left(1 + \frac{1}{\alpha}\right), \quad (8)$$

$$D = P_*^2 \left[ \Gamma\left(1 + \frac{2}{\alpha}\right) - \Gamma^2\left(1 + \frac{1}{\alpha}\right) \right], \quad (9)$$

где  $\Gamma(x)$  – гамма-функция Эйлера.

Для волокон первого компонента (кроссбредная шерсть 58<sup>к</sup>/56<sup>к</sup>)

$$P_* = 23,597 \text{ сН}; \quad \alpha = 5,567.$$

Коэффициент реализации средней прочности волокон составил  $k=0,664$ .

Для определения прочности волокон наиболее жесткого компонента (шерсть кроссбредная 58<sup>к</sup>/56<sup>к</sup>) необходимо определить длину волокон в пряже с учетом длины скольжения  $\ell_c$  и коэффициента скольжения волокон  $k_c$ .

Для  $\ell \geq \ell_s$  система волокон является самоуплотняющейся, то есть чем сильнее натяжение, тем сильнее поперечное сжатие. Если же  $\ell < 2\ell_s$ , то защемление волокон отсутствует и волокна скользят одно относительно другого. Длина волокон в ровнице для выработки пряжи линейной плотностью 200 текс составила 69 мм, квадратическая неровнота по длине составила 49%. Длина участка скольжения определяется из соотношения:

$$\ell_c = \sqrt{\frac{d_b Q}{2\mu(1 - \cos^2 \beta)}} = 11,43 \text{ мм}, \quad (10)$$

где  $d_b$  – диаметр волокна;  $Q$  – длина волны миграции;  $\mu$  – коэффициент трения между волокнами;  $\beta$  – угол кручения пряжи.

Прочность волокон кроссбредной шерсти 58<sup>к</sup>/56<sup>к</sup> пересчитанная на длину без учета длины скольжения волокон составила:

$$\bar{P}_B(\ell) = P_* \left(\frac{\ell_0}{\ell}\right)^{\frac{1}{\alpha}} \Gamma\left(1 + \frac{1}{\alpha}\right) = 15,86 \text{ сН}. \quad (11)$$

Проскальзывание волокон уменьшает прочность пряжи, и для данной пряжи коэффициент скольжения составил  $k_c = 0,89$ .

Прочность многокомпонентной полугребенной пряжи линейной плотности 200 текс с вложением нетрадиционных волокон (шерсть ангорская 48<sup>к</sup>) составила:

$$P_* = \bar{P}_B(\ell) m_1 (1 + \ell_2 + \ell_3) k k_c \langle \cos \theta \rangle = 967 \text{ сН}. \quad (12)$$

Реальная прочность исследуемой пряжи составила 908,8 сН, относительная ошибка прочности, предсказанная теоретически, составила 6,1%.

## ВЫВОДЫ

С использованием теоретического метода проектирования пряжи проведены расчеты прочности многокомпонентной полугребенной пряжи линейной плотности 200 текс с использованием нетрадиционных волокон – ангорской шерсти. Вычисленные значения прочности даже в области малых вероятностей превышают максимальное натяжение пряжи при ее формировании на кольцепрядильной машине.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Основы механики нити / Якубовский Ю. В., Живов В. С., Коритынский Я. И., Мигушов И. И. – М.: Легкая индустрия, 1973.
2. Механическая технология текстильных материалов / Севостьянов А.Г., Осьмин Н. А., Щербаков В. П. – М.: Легпромбытиздат, 1989.
3. Щербаков В. П., Скуланова Н. С. Аналитические методы проектирования нити и пряжи. – М.: МГТУ им. А. Н. Косыгина, 2007.

Рекомендована кафедрой технологии шерсти.  
Поступила 01.02.08.