

Список использованных источников

1. Науменко, А. А., Карпушенко И. С. Технологическая надежность нитей и ее оценка / Вестник УО «ВГТУ». – 2005. – № 7. – С. 24 – 26
2. Науменко, А. А., Карпушенко И. С. Статистические методы оценки качества: новые возможности / Вестник УО «ВГТУ». – 2005. – № 11. – С. 9 - 13
3. Карпушенко, И. С. К вопросу о качестве сырья в трикотажном производстве и его влиянии на качество готовой продукции / Проблемы формирования ассортимента, качества и конкурентоспособности товаров: сборник статей международной НПК / УО ГИПК. – Гомель, 2004. – С. 78 – 81
4. Карпушенко, И. С. Информационно-аналитическая система для оценки качества сырья в системе менеджмента качества предприятия / Сборник статей международной НТК «Качество в XXI веке: системный подход и инновации / БелГИСС – Минск, 2008. – С. 291 - 294

УДК 677.017.427:539.3

**ПРОЕКТИРОВАНИЕ ШЕРСТЯНОЙ ПРЯЖИ МАЛЫХ ЛИНЕЙНЫХ ПЛОТНОСТЕЙ ДЛЯ ТКАНИ SUPER 100**

**Кащеев О.В., соискатель,  
Московский государственный университет дизайна и технологии, Текстильный институт им. А.Н. Косыгина,  
г. Москва, Российская Федерация**

В последнее время в мире все большее распространение получает производство легких шерстяных тканей из пряжи малых линейных плотностей (16 – 19 текс). Известные формулы А.Н. Соловьева в хлопкопрядении, В.А. Усенко в прядении химических волокон, В.Г. Комарова в льнопрядении и др. основываются на эмпирических данных, поэтому применимы исключительно для конкретного вида сырья и не могут распространяться на современные волокна и пряжу.

Проф. В.П. Щербаков разработал аналитические методы проектирования нити и пряжи, которые могут быть применены для любого вида волокон. Здесь этот метод проектирования по заданным характеристикам волокон и структуре пряжи рассматривается применительно к чистошерстяной пряже малой линейной плотности 15,6 текс. Пряжа вырабатывается из австралийской мериносовой шерсти PLCB/LANDBOROUGH толщиной 18,5 мкм. Число волокон в поперечном сечении пряжи определяется как отношение линейных

плотностей пряжи и волокна. При известном диаметре волокна  $d_f = 18$  мкм и плотности шерстяного волокна

$\rho = 1,33$  г/см<sup>3</sup> вычисляется линейная плотность волокна  $T_f = \frac{d_f^2 \cdot 1,33}{0,0357^2} = 0,357$ . Тогда число волокон  $m = 44$ .

Экспериментально определенная средняя прочность волокна равна  $\bar{p}_f = 6,2$  сН. В геометрической модели нити волокна располагаются по винтовым линиям с постоянным шагом  $h$ . Тогда шаг винтовой линии  $h$  не зависит от текущего радиуса нити  $r$ , а угол ориентации отдельного волокна  $\vartheta$ , равный углу подъема винтовой линии, изменяется вдоль радиуса, достигая на поверхности нити радиуса  $R$  значения  $\beta$ . В индивидуальном волокне при нагружении пряжи возникают напряжения и деформации, зависящие от угла ориентации

отдельного волокна  $\vartheta$ . Проведем усреднение  $\cos \vartheta$ . Разделим нить на цилиндрические элементы радиальной толщины  $dr$  и площадью  $2\pi r dr$  с углом винтовой линии  $\vartheta$ . Тогда среднее значение  $\cos^4 \vartheta$

получим в результате интегрирования:  $\overline{\cos \vartheta} = \frac{1}{\pi R^2} \int_0^R 2\pi r \cos \vartheta dr$ . Интеграл можно упростить, введя вместо  $r$

новую переменную  $\vartheta$  и положив  $r = h \frac{\operatorname{tg} \vartheta}{2\pi}$ . Имеем  $dr = \frac{1}{2\pi} \frac{h}{\cos^2 \vartheta} d\vartheta$ . Кроме того, примем во внимание соотношения:  $2\pi R = h \operatorname{tg} \beta$  и  $2\pi r = h \operatorname{tg} \vartheta$ . После преобразования подинтегрального выражения с учетом

новой переменной и замены пределов получим  $\overline{\cos \vartheta} = \frac{2 \cos \beta \cdot 1 - \cos \beta}{\sin^2 \beta}$ . При коэффициенте крутки

$\alpha = 30$  величина крутки  $K = \frac{\alpha \cdot 100}{\sqrt{T}} = 760$  кр/м, и тогда шаг витка  $h = \frac{1000}{K} = \frac{1000}{760} = 1,317$  мм. Диаметр

пряжи линейной плотности 15,6 текс при этом  $d_y = 0,0357 \sqrt{\frac{T_y}{0,8}} = 0,158$  мм и угол кручения

$\beta = \operatorname{arctg} \frac{\pi d_y}{h} = 0,36$  рад. Усредненный косинус угла кручения принимает значение  $\overline{\cos \vartheta} = 0,967$ .

Без учета статистической природы прочности волокон и механизма разрушения пряжи ее прочность можно было бы найти, как это обычно и делается, по формуле

$$P_y = m\bar{p}_f \cos \vartheta \quad (1)$$

Но механизм разрушения нити представляет собой последовательный разрыв волокон, сначала наиболее слабых, а затем, после обрыва одного волокна, перераспределение нагрузки на остальные  $(m - 1)$  волокон. Основываясь на классической работе Даниэлса, найдем прочность центральных волокон нити.

Пусть  $n$  волокон из  $m$  исходных разрушилось, когда нагрузка достигла  $P$ . Тогда число неразорванных волокон  $m - n$ . Связь общей нагрузки на пучок  $P$  и нагрузки на отдельное волокно  $p$  выражается соотношением

$$P = mp \left( 1 - \frac{n}{m} \right) \quad (2)$$

Отношение  $\frac{n}{m} = \Phi \sigma$  является интегральной функцией распределения вероятности того, что волокно разрушится при напряжении, меньшем  $P$ . Значение  $P$  достигает максимума, если  $\frac{dP}{dp} = 0$ . Дифференцируя выражение (2) по  $p$  и приравнявая результат нулю, получим:

$$1 - \Phi p - p_{\max} \varphi p = 0, \quad (3)$$

где  $\varphi p$  – плотность распределения прочности волокон (дифференциальный закон распределения). Из условия экстремума (3) находим  $P_{\max}$  и в результате подстановки в исходное уравнение (2) получаем максимальное значение прочности пучка.

Максимальная прочность  $P_{\max}$  всегда меньше средней прочности.

Если принять распределение Вейбулла, то после подстановки в выражение (3), получим

$$1 - \left\{ 1 - \exp \left[ - \frac{l}{l_0} \left( \frac{p_{\max}}{p_w} \right)^\alpha \right] \right\} - p_{\max} \frac{l}{l_0} \frac{\alpha}{p_w} \left( \frac{p_{\max}}{p_w} \right)^{\alpha-1} \exp \left[ - \frac{l}{l_0} \left( \frac{p_{\max}}{p_w} \right)^\alpha \right] = 0.$$

Откуда

$$\frac{l}{l_0} \left( \frac{p_{\max}}{p_w} \right)^\alpha = \frac{1}{\alpha}$$

Воспользовавшись формулой (2), находим максимальную прочность всех волокон, участвующих в нагружении

$$P_{\max} = p_w m \left( \frac{l_0}{l} \right)^{1/\alpha} e \alpha^{-1/\alpha}, \quad (4)$$

где  $e$  – основание натурального логарифма.

Средняя прочность, определяется формулой:

$$\bar{P} = p_w m \left( \frac{l_0}{l} \right)^{1/\alpha} \Gamma \left( 1 + \frac{1}{\alpha} \right)$$

Сравнивая эту формулу с формулой максимальной прочности, запишем

$$P_{\max} = k \bar{P}, \quad (5)$$

где коэффициент

$$k = \frac{\alpha e^{-\frac{1}{\alpha}}}{\Gamma\left(1 + \frac{1}{\alpha}\right)} \quad (6)$$

является коэффициентом реализации средней прочности волокон в нити.

Параметры  $\alpha$  и  $P_w$  распределения Вейбулла находятся из системы уравнений, выражающих среднюю прочность волокон  $\bar{P}_f$  и дисперсию их прочности  $D$ :

$$\bar{P}_f = p_w \Gamma\left(1 + \frac{1}{\alpha}\right), \quad D = p_w^2 \left[ \Gamma\left(1 + \frac{2}{\alpha}\right) - \Gamma^2\left(1 + \frac{1}{\alpha}\right) \right]. \quad (7)$$

Испытания одиночных волокон длиной 50 мм дают  $\bar{P}_f = 2,403$  сН.

При  $p_f = 2,403$  сН,  $D = 0,82$  сН<sup>2</sup> решение дает  $p_w = 2,695$ ,  $\alpha = 2,88$ . Численное значение коэффициента реализации прочности волокон в пряже равно  $k = 0,55$ . Перейдем от средней прочности индивидуальных волокон к прочности одного волокна, полученной на испытательной машине при разрыве штапелем, то получим  $P_{ys}$  сН. Отнеся это значение прочности к линейной плотности волокна  $T_f = 0,357$  текс, найдем удельную разрывную нагрузку волокна, равную 37 Н/ктекс..

В механике волокнистых композитов длина  $l_s$  концевой части волокна, на которой напряжение уменьшается от  $\sigma_f$  до нуля, называется неэффективной длиной. Длина  $l_{кр} = 2l_s$ , передающая усилие соседним волокнам, является критической длиной. Для  $l \geq l_s$  система волокон является самоуплотняющейся, т.е. чем сильнее натяжение, тем сильнее поперечное обжатие. Если же  $l < 2l_s$  то защемление волокон отсутствует и волокна скользят одно относительно другого. Влияние проскальзывания определится как:

$$KП = \frac{\text{среднее натяжение с проскальзыванием}}{\text{среднее натяжение без проскальзывания}} = \frac{\text{площадь } OBBO}{\text{площадь } OAAO}$$

Соотношение, определяющее длину участка скольжения

$$l_s = \sqrt{\frac{aQ}{2\mu(1 - \cos^2 \beta)}}, \quad (8)$$

где  $a$  – радиус волокна,  $Q$  – период миграции  $Q = 4h$ ,  $\mu$  – коэффициент трения между волокнами. В нашем случае, принимая  $\mu = 0,23$ , получаем  $l_s = 0,924$  мм.  
Коэффициент

$$k_s = 1 - \frac{2}{3l} \left[ \frac{aQ}{2\mu(1 - \cos^2 \beta)} \right]^{\frac{1}{2}}. \quad (9)$$

является коэффициентом скольжения и характеризует уменьшение напряжения в нити из коротких волокон. Вычисленный в соответствии с (9)  $k_s = 0,992$ .

Окончательно вычисляем прочность пряжи

$$P_y = m p_j k k_c \overline{\cos \vartheta} = 44 \cdot 2,403 \cdot 0,55 \cdot 0,992 \cdot 0,967 = 55,744 \text{ сН}. \quad (10)$$

Удельная прочность принимает значение

$$P_{ys} = \frac{P_y}{T_y} = 3,573 \frac{\text{сН}}{\text{текс}}. \quad (11)$$

Эта величина меньше по сравнению с приведенными в USTER® STATISTICS данными, в соответствии с которыми  $P_{ys}$  чистошерстяной пряжи линейной плотности 15,6 составляет 4,1сН/текс. Объяснение

отклонения расчетных величин от действительных надо искать в рабочих гипотезах, принятых при построении модели пряжи. Приведенный вывод и расчет не учитывают ни изменения толщины нити при деформировании, ни действия поперечных сил, возникающих из-за пространственного расположения волокон в нити.

УДК 687.152:623

**ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЛИНЕЙНОЙ ПЛОТНОСТИ И  
КОЭФФИЦИЕНТА НАГОНА ВОЛОКНИСТОЙ СОСТАВЛЯЮЩЕЙ  
АРМИРОВАННОЙ НИТИ ПНЕВМОМЕХАНИЧЕСКОГО СПОСОБА  
ФОРМИРОВАНИЯ**

*Киселев Р.В., мастер ПО, Гришанова С.С., доц.,  
УО «Витебский государственный технологический университет»,  
г. Витебск, Республика Беларусь*

На кафедре «Прядение натуральных и химических волокон» разработана технология получения армированной нити пневмомеханического способа формирования. Армированная нить состоит из сердечника – комплексной химической нити, и волокнистой составляющей, сформированной из натуральных волокон (хлопок, лен).

Волокнистая составляющая сначала формируется в прядильной камере пневмомеханической прядильной машины. Затем она обкручивает сердечник, создавая волокнистое покрытие армированной нити.

Поскольку волокнистая составляющая обкручивает сердечник, ее длина в нити всегда больше длины сердечника. Коэффициент нагона волокнистой составляющей можно определить по формуле:

$$K_{н.в.с} = \frac{l_1}{l_0}, \quad (1)$$

где  $l_0$  – длина волокнистой составляющей до раскручивания армированной нити, мм;

$l_1$  – длина волокнистой составляющей после раскручивания, мм.

На рисунке 1, а представлена развертка одного витка волокнистой составляющей. Как видно из рисунка, коэффициент нагона волокнистой составляющей равен:

$$K_{н.в.с} = \frac{l_{в.с}}{l_c} = \frac{l_{в.с}}{h} = \frac{1}{\sin \gamma} = \frac{\sqrt{\pi d_{в.с}^2 + h^2}}{h} \quad (2)$$

где  $l_c$  – длина сердечника, мм;

$l_{в.с}$  – длина волокнистой составляющей, мм;

$\gamma$  – угол наклона волокнистой составляющей, рад;

$d_{в.с}$  – диаметр витка волокнистой составляющей вокруг сердечника, мм.

$h$  – шаг витка волокнистой составляющей, мм.

На пневмомеханической прядильной машине линейная плотность волокнистого покрытия равна:

$$T_{в.н} = \frac{T_l}{V_{в.в} / V_{num}}, \quad (3)$$

где  $V_{в.в}$  – скорость выпускных (оттяжных) валиков, м/мин;

$V_{num}$  – скорость подачи ленты, м/мин.

Линейная плотность волокнистой составляющей равна:

$$T_{в.с} = \frac{T_l}{V_{в.с} / V_{num}}, \quad (4)$$

где  $V_{в.с}$  – скорость волокнистой составляющей, м/мин.

Тогда:

$$\frac{T_{в.н}}{T_{в.с}} = \frac{V_{в.с}}{V_{в.в}}. \quad (5)$$

Учитывая, что длины сердечника  $l_c$  и армированной нити  $l_a$  равны, а также выражение (2), получим: