УДК 677.024

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ПРОЧНОСТИ КРУЧЕНОЙ ПРЯЖИ

Г.И. ТОЛУБЕЕВА, Н.К. РОМАНЫЧЕВ, В.Л. МАХОВЕР

(Ивановская государственная текстильная академия)

Известно, что разрывная нагрузка $Q_{кр}$ крученой пряжи зависит от разрывной нагрузки скручиваемых однониточных пряж $Q_{1\,пр}$ и коэффициента $K_{ус}$ усиления разрывной нагрузки в результате скручивания [1, с.292…298]:

$$Q_{кр} = Q_{1\,пр.} K_{ус}. \quad (1)$$

В уравнении (1) разрывная нагрузка одиночной пряжи принимается по данным справочника, предприятия или рассчитывается для хлопчатобумажной пряжи по методике [2, 20…24], для хлопкохимической – по методике [1, с. 362…365].

Коэффициент усиления разрывной нагрузки в результате скручивания зависит от линейной плотности скручиваемых однониточных пряж, числа кручений первичной и вторичной крутки, направления первичной и вторичной крутки, радиусов кручения, угла наклона витков в крученой пряже к линии, параллельной оси скрученного продукта, системы подготовки пряжи к прядению и способа прядения, линейной плотности и штапельной длины волокон однониточных пряж и прочих причин [1, с.292…298].

Предлагается методика оперативного получения регрессионной зависимости коэффициента $K_{ус}$ усиления при кручении в x сложений пряжи используемого на предприятии способа прядения, получаемой из типовой сортировки. Задача рассматривается на примере анализа требований ГОСТа 15258–70 к удельной разрывной нагрузке одиночной и крученой хлопчатобумажной пряжи кольцевого способа прядения.

Предварительно производится одномерная аппроксимация и определяются интерполяционные полиномы для расчета коэффициентов усиления разрывной нагрузки j-й пряжи при скручивании ($j = 1, 2, ..., m$):

$$K_{ус_j} = p_{1,j}x^{n-1} + p_{2,j}x^{n-2} + ... + p_{n-1,j}x + p_{n,j}, \quad (2)$$

где x – число сложений скручиваемой пряжи в условиях эксперимента, изменяющееся от одиночной пряжи до максимального числа сложений n, $x = 1, 2, ..., n$; n – число опытов для пряжи каждой линейной плотности, а также количество коэффициентов аппроксимирующих полиномов степени n-1; j – порядковый номер пряжи из области эксперимента и соответствующего ей аппроксимирующего полинома; $p_{i,j}$ – эмпирические коэффициенты j-го полинома; i – порядковый номер коэффициента и опыта для j-го полинома, $i = 1, 2, ..., n$.

Искомые коэффициенты $p_{i,j}$ j-го полинома (2) должны удовлетворять системе n линейных уравнений:

$$\begin{cases} p_{1,j}x_1^{n-1} + p_{2,j}x_1^{n-2} + ... + p_{n-1,j}x_1 + p_{n,j} = y_{1,j}, \\ p_{1,j}x_2^{n-1} + p_{2,j}x_2^{n-2} + ... + p_{n-1,j}x_2 + p_{n,j} = y_{2,j}, \\ . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \\ p_{1,j}x_n^{n-1} + p_{2,j}x_n^{n-2} + ... + p_{n-1,j}x_n + p_{n,j} = y_{n,j}, \end{cases} \quad (3)$$

где $y_{i,j}$ – экспериментальные значения коэффициентов усиления j-й пряжи в i-м опыте.

По данным ГОСТа 15258–70 [3, с. 2…6] с помощью команды $\text{vander}(X)$ [4, с. 482] рассчитаны коэффициенты аппроксимирующих полиномов для одиночной и крученой пряжи линейной плотности 25 текс $(j=1)$, 36 текс $(j=2)$, 50 текс $(j=3)$ и 84 текс $(j=4)$, имеющей от одного до шести сложений ($i=1, 2, ..., 6$, то есть число опытов n=6).

Задается столбец X: X = [1, 2, 3, 4, 5,6].

По известным из стандарта относительной разрывной нагрузке $p_{i,j}$ j-й пряжи с числом сложений x и разрывной нагрузке одиночной пряжи $p_{1,j}$ рассчитывается j-й столбец правой части системы уравнений (3):

$$Y_j = [\, y_{1,j}, y_{2,j}, ..., y_{n,j} \,], \qquad (4)$$

$$y_{i,j} = \frac{P_{i,j}}{P_{1,j}}. \qquad (5)$$

Получаем:

$$Y_1 = [\, 1,\ 1.104800,\ 1.190480,\ 1.230159,\ 1.230159,\ 1.230159 \,],$$
$$Y_2 = [\, 1,\ 1.128000,\ 1.160000,\ 1.160000,\ 1.160000,\ 1.160000 \,],$$
$$Y_3 = [\, 1,\ 1.076920,\ 1.115385,\ 1.153846,\ 1.153846,\ 1.153846 \,],$$
$$Y_4 = [\, 1,\ 1.021200,\ 1.060610,\ 1.098485,\ 1.121212,\ 1.121212 \,].$$

Единственное решение системы получается путем левого матричного деления с помощью функции:

$$P_j(X) = \text{vander}(X) \setminus Y_j, \qquad (6)$$

где $P_j(X) = [p_{1,j}, p_{2,j}, ..., p_{n,j}]$.

Получены коэффициенты аппроксимирующих полиномов $P_j(X)$ и интерполяционные зависимости для расчета коэффициентов увеличения относительной прочности при скручивании $K_{\text{ус}\,j}$ для четырех видов крученой пряжи, изготовленной из средневолокнистых сортов хлопчатника в соответствии с требованиями ГОСТа 15258–70: для пряжи линейной плотности 25 текс - (7), 36 текс – (8), 50 текс – (9) и 84 текс – уравнение (10):

$$K_{\text{ус}\,1} = 0{,}0014x^4 - 0{,}0182x^3 + 0{,}0655x^2 + 0{,}0154x + 0{,}936, \qquad (7)$$

$$K_{\text{ус}\,2} = -0{,}0013x^4 + 0{,}024x^3 - 0{,}1587x^2 + 0{,}456x + 0{,}68, \qquad (8)$$

$$K_{\text{ус}\,3} = 0{,}0013x^5 - 0{,}0224x^4 + 0{,}1474x^3 - 0{,}4583x^2 + 0{,}7166x + 0{,}615, \qquad (9)$$

$$K_{\text{ус}\,4} = 0{,}0003x^4 - 0{,}0059x^3 + 0{,}038x^2 - 0{,}0553x + 1{,}023. \qquad (10)$$

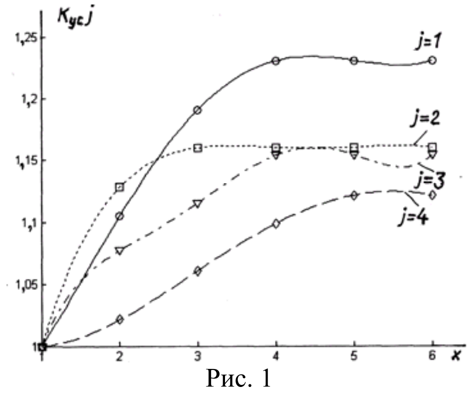

Рис. 1

На рис. 1 представлены эмпирические зависимости коэффициентов $K_{\text{ус}\,j}$ увеличения разрывной нагрузки одиночной пряжи при скручивании с разным числом сложений. Теоретические кривые получены при изменении числа сложений x с шагом, равным $\Delta x = 0{,}1$.

С увеличением числа сложений коэффициент усиления разрывной нагрузки пряжи вначале увеличивается, достигает своего максимального значения при числе сложений, равном четырем (для пряжи линейной плотности 36 текс – трем), после чего с увеличением числа сложений величина $K_{ус\,j}$ не изменяется. Причем с увеличением линейной плотности одиночной нити скручиваемой пряжи коэффициент усиления разрывной нагрузки пряжи при скручивании – уменьшается.

Коэффициенты аппроксимирующих полиномов $P_j(X)$ можно также найти с помощью функции $\text{polyfit}(X, Y, k)$ [3, с. 483], где k – задаваемая пользователем наибольшая степень полинома, при этом $k \le n-1$. Функция $\text{polyfit}(X, Y, k)$ удобна тем, что позволяет подобрать аппроксимирующий полином, имеющий наименьшую возможную степень. Для проверки качества найденного полинома строится график, на котором показывается полиномиальная кривая и табличные точки аппроксимируемой функции.

Для пряжи линейной плотности 84 текс $(j = 4)$, имеющей от одного до шести сложений, с помощью функции $\text{polyfit}(X, Y, k)$ определены коэффициенты аппроксимирующих полиномов различных степеней, представленные уравнением (11) – линейная зависимость $(k = 1)$, (12) – параболическая $(k = 2)$, (13) – полиномом третьей степени $(k = 3)$, (14) – полиномом четвертой степени $(k = 4)$.

При определении коэффициентов аппроксимирующего полинома пятой степени получена зависимость (14), так как коэффициент при x^5 оказался равным нулю, как и в уравнении (10):

$$K_{ус4} = 0{,}027x + 0{,}9761, \qquad (11)$$

$$K_{ус4} = -0{,}0031x^2 + 0{,}0486x + 0{,}9473, \qquad (12)$$

$$K_{ус4} = -0{,}0023x^3 + 0{,}0208x^2 - 0{,}0235x + 1{,}0046, \qquad (13)$$

$$K_{ус4} = 0{,}0003x^4 - 0{,}0059x^3 + 0{,}038x^2 - 0{,}0553x + 1{,}023. \qquad (14)$$

Анализ полученных зависимостей показывает, что уравнения (10) и (14) одинаковы.

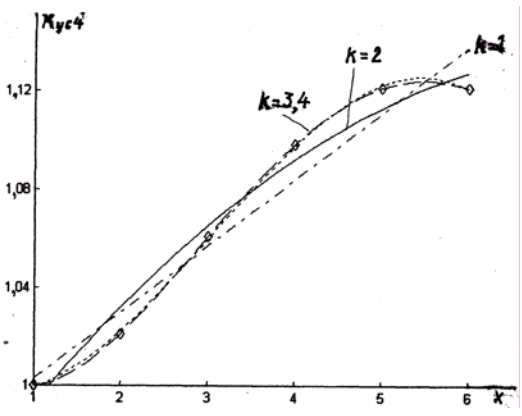

Рис. 2

На рис. 2 представлены аппроксимирующие полиномы (11)…(14). Анализ рис. 2 показывает, что с экспериментальными данными одинаково хорошо согласуются полиномиальные зависимости третьего (13) и четвертого (14) порядков.

С целью получения зависимости коэффициента усиления разрывной нагрузки пряжи $K_{ус}$ от числа сложения x и линейной плотности одиночной пряжи $T_{пр}$ в среде программирования MATLAB 6.5 выполнена двумерная аппроксимация с помощью функции $\text{interp2}(X,\ T_{пр}, Z, xx, tt, \text{method})$:

$$K_{ус} = z(T_{пр}, n). \qquad (15)$$

Произведена аппроксимация кусочными билинейными функциями вида:

$$z = p_{00} + p_{10}x + p_{01}t + p_{11}xt, \qquad (16)$$

где t – линейная плотность пряжи, текс;

$$Z = K_{ус}.$$

Поверхность отклика искомой зависимости представляет собой фрагменты гиперболического параболоида – седла. Для 60 участков определены коэффициенты уравнений (16) при изменении числа сложений от одного до шести с шагом $\Delta x = 1$ и линейной плотности одиночной пряжи от 25 до 85 текс с шагом $\Delta t = 5$ текс.

При построении аппроксимирующей поверхности отклика принимался вектор абсцисс $x[1\,2\,3\,4\,5\,6]$, вектор ординат $t[25\;\;36\;\;50\;\;84]$ и двумерный массив аппликат, в котором каждой паре $(x(i), t(j))$ соответствует значение $Z(i, j)$:

$$\begin{array}{cc} & \rightarrow\; i \\ Z = \begin{bmatrix} 1 & 1.104800 & 1.190480 & 1.230159 & 1.230159 & 1.230159, \\ 1 & 1.128000 & 1.160000 & 1.160000 & 1.160000 & 1.160000, \\ 1 & 1.076920 & 1.115385 & 1.153846 & 1.153846 & 1.153846, \\ 1 & 1.021200 & 1.060610 & 1.098485 & 1.121212 & 1.121212 \end{bmatrix} & \downarrow j, \end{array}$$

где i – текущее значение номера столбца для j-й пряжи с различным числом сложений нитей.

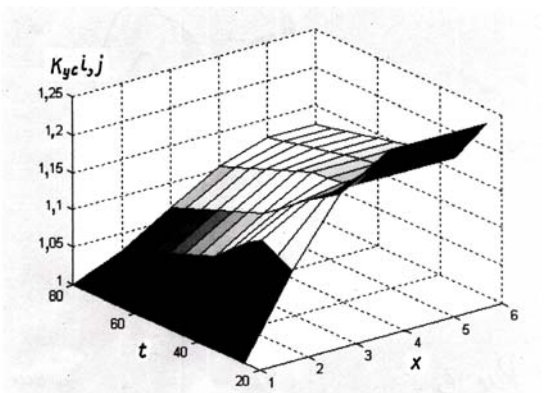

Рис. 3

Построенная поверхность отклика, аппроксимирующая зависимость коэффициента $K_{ус}$ от линейной плотности одиночной пряжи и числа сложений, представлена на рис. 3. Полученные зависимости справедливы для хлопчатобумажной пряжи кольцевого способа прядения линейной плотности одиночной нити от 25 до 84 текс, выработанной из типовых сортировок средневолокнистых сортов хлопчатника при числе сложений от одного до шести.

ВЫВОДЫ

Разработаны методика расчета, алгоритм и программное обеспечение, позволяющие, учитывая опыт предприятия по выпуску крученых пряж, оперативно получать искомые зависимости (2), (15) и (16) для любых сортировок хлопчатобумажной и хлопкохимической пряжи и рассчитывать разрывную нагрузку крученых пряж применительно к технологии данного предприятия.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Широков В.П. и др.* Справочник по хлопкопрядению. – М.: Легкая и пищевая промышленность, 1985.
2. *Бадалов К.И., Борзунов И.Г., Конюков П.М. и др.* Лабораторный практикум по прядению хлопка и химических волокон. –М.: Легкая индустрия, 1978.
3. *Кетков Ю.Л., Кетков А.Ю., Шульц М.М.* MATLAB 6.х.: программирование численных методов. – СПб.: БХВ-Петербург, 2004.
4. ГОСТ 15958–70. Пряжа (нити) хлопчатобумажная кардная однониточная и крученая для технических целей. – М.: Изд-во стандартов, 1975. - 15 с. (Действовал до 01.01.1988 г.).

Рекомендована кафедрой проектирования текстильных изделий. Поступила 30.12.05.