

УДК 677.052.484

**МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПРОЦЕССА КРУЧЕНИЯ ПРЯЖИ
ИЗ ЭЛЕМЕНТАРИЗОВАННЫХ ЛЬНЯНЫХ ВОЛОКОН
НА ПРЯДИЛЬНОЙ МАШИНЕ
ПНЕВМОМЕХАНИЧЕСКОГО СПОСОБА ПРЯДЕНИЯ***

**A MATHEMATICAL MODEL OF THE PROCESS OF TWISTING YARN
FROM THE ELEMENTARYSECONDARY FLAX FIBERS
ON A SPINNING MACHINE OF OE SPINNING**

*И.Ю. ЛАРИН, Т.Я. КРАСИК, Е.А. ВАРГАНОВА, С.А. НЕКРАШЕВИЧ,
В.Э. РЫБИН, В.Г. СТОКОЗЕНКО*

*I.YU. LARIN, T.YA. KRASIK, E.A. VARGANOVA, S.A. NEKRASHEVICH,
V.E. RYBIN, V.G. STOKOZENKO*

**(Ивановский государственный политехнический университет,
Институт химии растворов им. Г.А. Крестова РАН, г. Иваново)
(Ivanovo State Polytechnic University,
G.A. Krestov Institute of Solution Chemistry of the RAS, Ivanovo)
E-mail: nir_igta@mail.ru**

Рассматривается процесс распределения крутки пряжи по баллону в камере пневмомеханического прядильного устройства. Выведена математическая модель для расчета крутки пряжи в точке съема с желоба прядильного ротора. В предложенной модели учтены жесткость пряжи из элементаризованных льняных волокон при кручении, геометрические характеристики камеры и технологические параметры процесса пневмомеханического прядения.

Considers the process of distribution of yarn twist on bulloon in the OE spinning device. Derived a mathematical model to calculate the twist of the yarn at a point of

* Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ (проект № 15-48-03021).

removing from the chute of the spinning rotor. The proposed model takes into account the stiffness of the yarn from elementarysecondary flax fibers under twist, geometric characteristics of the chamber and th technological parameters of the process of OE spinning.

Ключевые слова: элементаризованные льняные волокна, крутка пряжи, пневмомеханическое прядение.

Keywords: elementarysecondary flax fibers, yarn twist, OE spinning.

В настоящее время трудно переоценить значимость для легкой промышленности России развития отечественных технологий переработки льняного волокна [1], в том числе и процессов элементаризации [2]. Комплексные льняные волокна обладают большой дисперсией по степени одревеснения, поэтому в процессе дробления самые жесткие волокна не разделяются на элементарные волокна, а образуют комплексы разной толщины, которые по результатам исследований нарушают ход технологического процесса прядения. На стадии подготовки волокна к прядению необходимо отделить от элементаризованных волокон жесткие неразработанные волокна.

Однако небольшая часть этих волокон остается в сырье и может доходить с полуфабрикатом до прядильных машин. По этой же причине осложнена переработка в прядении смесей на основе волокон котонина. Переработка льняного сырья, содержащего жесткие неразработанные волокна, на пневмомеханических прядильных машинах сопровождается повышенной обрывностью, в частности, из-за увеличения такой характеристики пряжи, как жесткость при кручении. В этом случае выбор оптимальных технологических параметров процесса пневмопрядения позволяет уменьшить влияние повышенной жесткости при кручении на обрывность. По этой причине исследование механизма влияния повышения жесткости при кручении пряжи на возникновение обрывности при пневмопрядении элементаризованных и котонизированных волокон является актуальной задачей.

С целью изучения влияния жесткости пряжи при кручении на процесс получения хлопкольнай пряжи ниже рассматрива-

ется математическое моделирование закономерностей распределения крутки по траектории движения пряжи в баллоне.

В [3], [4] предложена модель для расчета распределения крутки по баллонирующему участку пневмомеханической пряжи в прядильном роторе. Основой для моделирования в [3], [4] принято предположение о том, что производная от крутки пропорциональна крутке, а главное, что отношение производной от крутки к величине крутки постоянно.

Введем систему координат Ox . Точку O совместим с точкой входа пряжи на фрикционную поверхность воронки, ось x направим по баллонирующему участку пряжи. На основе учета жесткости пряжи при кручении примем следующую модель для расчета крутки на баллонирующем участке, отличающуюся от модели [3], [4] тем, что отношение производной от крутки к величине крутки представляет собой не постоянную величину, а функцию от x :

$$\frac{\Delta K}{\Delta x} = -\alpha(x)K(x), \quad (1)$$

где $\alpha(x)$ – коэффициент пропорциональности, зависящий от x .

С целью определения величины $K(x)$ выведем приближенную зависимость для расчета функции $\alpha(x)$. Принимаем, что эта величина может быть представлена в виде линейной функции:

$$\alpha(x) = 0,5Ax + B, \quad (2)$$

где A, B – постоянные.

В случае попадания жесткого включения в балонирующий участок хлопкольной смесовой пряжи величина $\alpha(x)$ изменяется в зависимости от физико-механических характеристик пряжи.

Интегрирование уравнения (1) дает следующую формулу для расчета величины крутки пряжи:

$$K(x) = K_b \exp\left[-\int_0^x (0,5Ax + B) dx\right] = K_b e^{-0,5Ax^2 - Bx}. \quad (4)$$

Поставим целью дальнейшего анализа определение численных значений коэффициентов A и B . Для этого определим значения первой и второй производных от $K(x)$ в точке $x = 0$. Формулы для этих производных имеют вид:

$$\frac{dK}{dx} = (-Ax - B)K_b \exp(-0,5Ax^2 - Bx), \quad (5)$$

$$\frac{d^2K}{dx^2} = [(-Ax - B)^2 - A]K_b \exp(-0,5Ax^2 - Bx).$$

Зная значения K' и K'' в некоторой точке x , можно определить величины A и B .

Проф. И.И. Мигушов изучал изменение крутки на фрикционной поверхности воронки и представил результаты исследования в [5]. Для решения задачи, заключающейся в определении коэффициентов A и B , используем результаты исследования механики процесса кручения пряжи на пряжевыводной воронке, приведенные в [5].

Пусть ϕ – текущий угол охвата пряжей фрикционной поверхности воронки. Тогда величина крутки пряжи определяется по формуле [5]:

$$K(\phi) = K_b + a_k K_{пр} [\exp(k\phi) - 1], \quad (6)$$

где $K_b = K_{пр} \{1 - a_k [\exp(k\phi_{охв}) - 1]\}$ – крутка пряжи на выходе с поверхности воронки;

$$K(\phi) = K_{пр} [1 - a_k \exp(k\phi_{охв})] + K_{пр} a_k \exp(k\phi) = K_0 + K_1 \exp(k\phi), \quad (8)$$

где $K_0 = K_{пр} [1 - a_k \exp(k\phi_{охв})]$; $K_1 = K_{пр} a_k$.

$$K(x) = K_b \exp\left[-\int_0^x \alpha(x) dx\right], \quad (3)$$

где K_b – крутка пряжи на входе на поверхность пряжевыводной воронки.

Таким образом, распределение крутки пряжи по баллону определяется из следующего соотношения:

$K_{пр} = n_k / (60v_{вып})$ – номинальное значение крутки;

$$a_k = \frac{\pi n_k^2 r_k^2 \mu_n e^{k\phi_n} (r_n k_{пр} + k_{кач}) [1 - (r_b / r_k)^2]}{3600 k K_{пр} C};$$

$\omega_k = \pi n_k / 30$ – угловая скорость вращения прядильного ротора; $k_{пр} = \text{tg}\phi_n$; $\mu_n = 10^{-6} T$; T – линейная плотность пряжи, текс; n_k – частота вращения прядильного ротора, мин⁻¹; ϕ_n – угол трения нормальных сил трения скольжения пряжи по воронке; γ_n – условная плотность пряжи (для хлопка и котонина $\gamma_n \approx 1500$ кг/м³); r_n – условный радиус пряжи; $k_{кач}$ – коэффициент трения качения стержня пряжи по поверхности воронки ($k_{кач} = 0,1 r_n$) [5]; $\phi_{охв}$ – угол охвата пряжей фрикционной поверхности воронки; r_b – радиус пряжевыводной воронки; C – жесткость пряжи при кручении; $k = 0,18$ – коэффициент тангенциального трения скольжения пряжи.

Подставляя выражения для K_b в формулу для крутки, находим, что

$$K(\phi) = K_{пр} \{1 - a_k [\exp(k\phi_{охв}) - \exp(k\phi)]\}, \quad (7)$$

или

Следовательно,

$$\frac{dK}{d\phi} = K_1 k \exp(k\phi); \quad \frac{d^2K}{d\phi^2} = K_1 k^2 \exp(k\phi). \quad (9)$$

Учитывая направления отсчета угла ϕ и координаты x , следует отметить, что на фрикционной поверхности воронки выполняется соотношение:

$$dx = -r_\phi d\phi,$$

где r_ϕ – радиус фрикционной поверхности воронки.

То есть

$$\frac{dK}{dx} = -\frac{1}{r_\phi} \frac{dK}{d\phi}; \quad \frac{d^2K}{dx^2} = \frac{1}{r_\phi^2} \frac{d^2K}{d\phi^2}. \quad (10)$$

В точке входа пряжи на фрикционную поверхность воронки выполняются следующие соотношения:

$$\left. \frac{dK}{dx} \right|_{x=0} = -\frac{1}{r_\phi} \left. \frac{dK}{d\phi} \right|_{\phi=0}, \quad (11)$$

$$\left. \frac{d^2K}{dx^2} \right|_{x=0} = \frac{1}{r_\phi^2} \left. \frac{d^2K}{d\phi^2} \right|_{\phi=0}.$$

$$K_c = K_B e^{-0,5A(D_1^2/K_B^2 - D_2/K_B)(r_k - r_B)^2 - (D_1/K_B)(r_k - r_B)}. \quad (14)$$

Разработанная математическая модель (14) представляет собой инструмент для определения уровня крутки в точке съема пряжи с желоба прядильной камеры и далее, исходя из этого уровня, предоставляет возможность выбирать оптимальные варианты режима пневмопрядения с целью снижения обрывности.

ВЫВОДЫ

1. Разработана математическая модель зависимости распределения крутки по траектории баллона в прядильной камере.
2. Полученная модель позволяет определить как крутку в точке съема пряжи с желоба прядильной камеры в зависимости от физико-механических показателей пря-

То есть имеем, что

$$\left. \frac{dK}{dx} \right|_{x=0} = -\frac{K_1 k}{r_\phi}, \quad (12)$$

$$\left. \frac{d^2K}{dx^2} \right|_{x=0} = \frac{K_1 k^2}{r_\phi^2}.$$

Обозначим

$$D_1 = -\frac{K_1 k}{r_\phi}, \quad D_2 = \frac{K_1 k^2}{r_\phi^2}. \quad (13)$$

Так как

$$D_1 = -BK_B; \quad D_2 = (B^2 - A)K_B,$$

то

$$A = D_1^2 / K_B^2 - D_2 / K_B; \quad B = -D_1 / K_B.$$

Обозначая через K_c крутку пряжи в точке ее съема с желоба ротора, имеем из (4):

жи, геометрических и скоростных параметров камеры, так и провести оптимизацию процесса пневмопрядения с целью снижения обрывности.

ЛИТЕРАТУРА

1. Разумеев К.Э., Павлов Ю.В. и др. Теоретические основы технологии прядения. – Иваново: ИВГПУ, 2014.
2. Патент №2348745 Российская Федерация, МКП⁷D 01 B5/00, D 01 G15/00. Способ обработки льняного волокна и устройство для его реализации / И.Ю. Ларин, В.В. Капитанов; заявитель и патентообладатель Ивановск. гос. текстильн. акад. – № 2007117289/12, заявл. 08.05.07; опубл. 10.03.2009. Бюл. №7.
3. Ларин И.Ю. Влияние жестких волокон котонина на качество пряжи и стабильность технологического процесса прядения // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2015, №4.

4. *Посылина Е.А., Красик Я.М., Ларин И.Ю., Бариев А.Р.* Изучение влияния механических свойств волокон на изменение крутки пряжи при пневмомеханическом способе прядения // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2005, № 3. С. 40...43.

5. *Посылина Е.А., Ларин И.Ю., Красик Я.М., Хосровян Г.А.* Разработка методики расчета процесса распространения крутки по баллону при пневмопрядении // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2007, № 3С. С. 46...48.

6. *Мигушов И.И.* Механика текстильной нити и ткани. – М.: Легкая индустрия, 1980.

REFERENCES

1. Razumeev K.Je., Pavlov Ju.V. i dr. Teoreticheskie osnovy tehnologii prjadenija. – Ivanovo: IVGPU, 2014.

2. Patent №2348745 Rossijskaja Federacija, МКР7D 01 В5/00, D 01 G15/00. Sposob obrabotki l'njanogo volokna i ustrojstvo dlja ego realizacii / I.Ju. Larin, V.V. Kapitanov; zajavitel' i patentoobladatel'

Ivanovsk. gos. tekstil'n. akad. – № 2007117289/12, zajavl. 08.05.07; opubl. 10.03.2009. Bjul. №7.

3. Larin I.Ju. Vlijanie zhestkih volokon kotonina na kachestvo prjazhi i stabil'nost' tehnologicheskogo processa prjadenija // Izv. vuzov. Tehnologija tekstil'noj promyshlennosti. – 2015, №4.

4. Posylina E.A., Krasik Ja.M., Larin I.Ju., Bariev A.R. Izuchenie vlijanija mehanicheskikh svojstv volokon na izmenenie krutki prjazhi pri pnevmomehanicheskom sposobe prjadenija // Izv. vuzov. Tehnologija tekstil'noj promyshlennosti. – 2005, № 3. S.40...43.

5. Posylina E.A., Larin I.Ju., Krasik Ja.M., Hosrovjan G.A. Razrabotka metodiki rascheta processa rasprostraneniya krutki po ballonu pri pnevmoprjadenii // Izv. vuzov. Tehnologija tekstil'noj promyshlennosti. – 2007, № 3S. S. 46...48.

6. Migushov I.I. Mehanika tekstil'noj niti i tkani. – М.: Legkaja industrija, 1980.

Рекомендована кафедрой технологии и проектирования текстильных изделий. Поступила 28.09.15.