

## ПОВЫШЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ РАБОТЫ ВЫТЯЖНОГО ПРИБОРА ТЕКСТИЛЬНОЙ МАШИНЫ\*

*Г.И. ЧИСТОБОРОДОВ, В.А. АВРЕЛЬКИН, В.Г. ЛАПШИН, А.В. ШАГИНОВ, В.И. РОНЬЖИН*

**(Ивановская государственная текстильная академия)**

При решении проблем, связанных с процессом вытягивания, одними из главных являются проблемы по изучению характеристик перехода волокон со скорости питающей пары на скорость выпускной, то есть факторов, влияющих на характер кривой утонения.

О правильности протекания процесса вытягивания в вытяжных приборах можно судить по кривым утонения. На характер изменения кривой утонения влияют различного рода факторы, например: длина перерабатываемых волокон, разводка в зонах вытяжного прибора, вытяжка, поле сил трения, созданное контролирующими органами, и т.д.

В результате взаимодействия перечисленных факторов во времени и величины влияния каждого из них в отдельности возникают отклонения в условиях протекания технологического процесса вытягивания, что приводит к колебаниям движения волокон, а следовательно, и изменениям показателей качества полуфабрикатов,

характеризующих уровень неровноты продуктов прядения.

В настоящей работе исследовано влияние поля сил трения, которое образовано контролирующими органами, установленными в зоне вытяжного прибора, на характер изменения кривой утонения с последующим анализом эффективности их использования. Исследования проводили в первой зоне вытяжного прибора прядильной машины П-76-ШГ2, где в качестве контролирующих органов были установлены в первом варианте – криволинейная планка, во втором – уплотнитель конической формы заводской конструкции.

Определим напряжение поля сил трения в зоне вытяжного прибора при использовании обозначенных контролирующих устройств [1].

В зависимости от вида используемого уплотнителя эпюра напряжения поля сил трения будет различной. За характеристику поля сил трения в сечении поля вытягивания принимали плотность мычки, выра-

\* Работа выполнена по гранту Министерства образования РФ по фундаментальным исследованиям в области технических наук 2002 г.

Работа выполнена по НТП "Научные исследования высшей школы по приоритетным направлениям науки и техники" на 2003...2004 гг.

женную коэффициентом заполнения волоконном продукта:

$$K_3 = \frac{n_x S_B}{S_{пр}}, \quad (1)$$

где  $n_x$  – число волокон в сечении  $x$  поля вытягивания;  $S_B$  – площадь поперечного сечения волокна;  $S_{пр}$  – площадь поперечного сечения продукта.

Напряжение поля сил трения в зоне вытяжного прибора определяется следующим образом:

$$q = 2d \left( \frac{1750K_3^3}{1 - K_3} \mu_1 + hK_3 \right), \quad (2)$$

где  $h$  – цепкость волокон;  $\mu_1$  – коэффициент трения между волокнами;  $d$  – диаметр волокна.

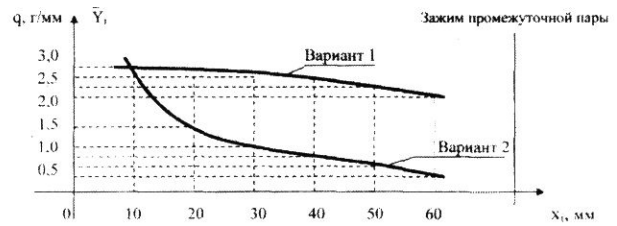


Рис. 1

Исследования проводили на десяти прядильных машинах; напряжение поля сил трения определяли в шести точках поля вытягивания; средние результаты сведены в табл. 1 и представлены на рис. 1.

График изменения напряжения поля сил трения построим в Декартовой системе координат, где примем обозначения:  $Y_i$  – величина  $q$ ;  $x_i$  – расстояние от зажима питающей пары.

Таблица 1

Номер варианта	$x_i$	10	20	30	40	50	60
1	$\bar{Y}_i$	2.6	2.52	2.43	2.32	2.23	2.16
2	$\bar{Y}_i$	2.61	1.3	0.87	0.65	0.52	0.47

Определим вид функций изменения напряжения поля сил трения в данной системе координат. Кривую изменения напряжения поля сил трения, полученную по первому варианту, выразим линейной регрессионной моделью, а кривую, полученную по второму варианту – нелинейной регрессионной моделью.

Уравнение линейной регрессии выглядит так [2]:

$$Y(x) = a x + b, \quad (3)$$

где  $a$  и  $b$  – коэффициенты регрессии.

Коэффициенты  $a$  и  $b$  определим методом наименьших квадратов, который ос-

нован на минимизации суммы квадратов отклонений теоретических значений функций отклика от значений групповых средних  $\bar{Y}_1; \bar{Y}_2; \dots; \bar{Y}_n$  функций отклика:

$$S = \delta_1^2 + \delta_2^2 + \dots + \delta_n^2,$$

где  $\delta_i = \bar{Y}_i - Y_{iТ}$  – отклонение теоретических значений функций отклика;  $i = 1, 2, \dots, n$  – количество опытов.

Сумма квадратов отклонений составляет

$$\begin{aligned} \delta_1^2 &= (\bar{Y}_1 - ax_1 + b)^2 = \bar{Y}_1^2 + a^2 x_1^2 - 2a\bar{Y}_1 x_1 - 2b\bar{Y}_1 - 2abx_1 + b, \\ \delta_2^2 &= (\bar{Y}_2 - ax_2 + b)^2 = \bar{Y}_2^2 + a^2 x_2^2 - 2a\bar{Y}_2 x_2 - 2b\bar{Y}_2 - 2abx_2 + b, \\ &\dots \dots \dots \\ \delta_n^2 &= (\bar{Y}_n - ax_n + b)^2 = \bar{Y}_n^2 + a^2 x_n^2 - 2a\bar{Y}_n x_n - 2b\bar{Y}_n - 2abx_n + b. \end{aligned}$$

$$S = \sum_{i=1}^n \bar{Y}_i^2 + a^2 \sum_{i=1}^n x_i^2 - 2a \sum_{i=1}^n \bar{Y}_i x_i - 2b \sum_{i=1}^n \bar{Y}_i + 2ab \sum_{i=1}^n x_i + nb^2.$$

Условием минимума суммы квадратов отклонений  $S$  как функции двух переменных  $a$  и  $b$  являются нулевые значения производных по указанным аргументам:

$$\frac{dS}{da} = 0, \quad \frac{dS}{db} = 0.$$

Выполнив дифференцирование, из этих условий получим систему уравнений:

$$\begin{cases} a \sum_{i=1}^n x_i^2 + b \sum_{i=1}^n x_i = \sum_{i=1}^n x_i \bar{Y}_i, \\ a \sum_{i=1}^n x_i + nb = \sum_{i=1}^n \bar{Y}_i. \end{cases}$$

Решив данную систему относительно  $a$  и  $b$  методом Крамера, найдем искомые коэффициенты уравнения регрессии:

$$a = \frac{\Delta_1}{\Delta} \quad \text{и} \quad b = \frac{\Delta_2}{\Delta},$$

$$\Delta = \begin{vmatrix} \sum_{i=1}^n x_i^2 & \sum_{i=1}^n x_i \\ \sum_{i=1}^n x_i & n \end{vmatrix} = n \sum_{i=1}^n x_i^2 - \left( \sum_{i=1}^n x_i \right)^2,$$

$$\Delta_1 = n \sum_{i=1}^n x_i \bar{Y}_i - \sum_{i=1}^n x_i \sum_{i=1}^n \bar{Y}_i,$$

$$\Delta_2 = n \sum_{i=1}^n x_i^2 \sum_{i=1}^n \bar{Y}_i - \sum_{i=1}^n x_i \sum_{i=1}^n x_i \bar{Y}_i.$$

Тогда

$$\Delta = 10500; \quad \Delta_1 = -95,4; \quad \Delta_2 = 28350;$$

$$Y(x) = -0,009x + 2,7. \quad (4)$$

Проверку значимости коэффициентов регрессии проводили с помощью критерия Стьюдента [3]. Коэффициент регрессии считается значимым, если абсолют-

ная величина больше доверительной ошибки:

$$|b_i| > \Delta b_i.$$

Доверительная ошибка:

$$\Delta b_i = t_{\text{табл}} \sqrt{\frac{S^2\{\bar{Y}\}}{n}} = 0,0083,$$

где  $t_{\text{табл}}$  – табличное значение критерия Стьюдента;  $S^2\{\bar{Y}\}$  – дисперсия среднего значения.

Для проверки адекватности линейной модели (4) использовали критерий Фишера. Расчетное значение критерия Фишера:

$$F_{\text{расч}} = \frac{S_{\text{адек}}^2\{Y\}}{S^2\{Y\}},$$

где  $S_{\text{адек}}^2\{\bar{Y}\}$  – дисперсия адекватности.

Гипотезу об адекватной модели принимают, если

$$F_{\text{расч}} < F_{\text{табл}}.$$

Получили, что  $F_{\text{расч}} = 0,043 < F_{\text{табл}} = 4,32$ . Следовательно, гипотеза об адекватности модели не отвергается.

График функции изменения напряжения поля сил трения при вытягивании полуфабриката по второму варианту аппроксимируем уравнением гиперболы (кривая Филиппса):

$$Y(x) = a + \frac{b}{x}. \quad (5)$$

Система уравнений для определения коэффициентов регрессии  $a$  и  $b$ :

$$\begin{cases} \sum_{i=1}^n \bar{Y}_i = nb + a \sum_{i=1}^n \frac{1}{x_i}, \\ \sum_{i=1}^n \frac{1}{x_i} \bar{Y}_i = b \sum_{i=1}^n \frac{1}{x_i} + a \sum_{i=1}^n \left(\frac{1}{x_i}\right)^2. \end{cases}$$

Решив систему уравнений относительно  $a$  и  $b$ , получим

$$a = \frac{\Delta_1}{\Delta} \quad \text{и} \quad b = \frac{\Delta_2}{\Delta},$$

$$\Delta = \begin{vmatrix} n & \sum_{i=1}^n \frac{1}{x_i} \\ \sum_{i=1}^n \frac{1}{x_i} & \sum_{i=1}^n \left(\frac{1}{x_i}\right)^2 \end{vmatrix} = n \sum_{i=1}^n \left(\frac{1}{x_i}\right)^2 - \sum_{i=1}^n \frac{1}{x_i} \sum_{i=1}^n \frac{1}{x_i},$$

$$\Delta_1 = \sum_{i=1}^n \bar{Y}_i \sum_{i=1}^n \frac{1}{x_i} - n \sum_{i=1}^n \frac{1}{x_i} \bar{Y}_i,$$

$$\Delta_2 = \sum_{i=1}^n \frac{1}{x_i} \sum_{i=1}^n \frac{1}{x_i} \bar{Y}_i - \sum_{i=1}^n \bar{Y}_i \sum_{i=1}^n \left(\frac{1}{x_i}\right)^2.$$

Подставив значения из табл. 1, найдем уравнение гиперболы, характеризующее изменение напряжения поля сил трения:

$$Y(x) = -0,003 + \frac{26,2}{x}. \quad (6)$$

Существенность полученного уравнения проверим по критерию Фишера, фактическое значение которого определим по формуле

$$F_{\text{факт}} = \frac{R^2}{1 - R^2} \frac{n - m - 1}{m},$$

где  $n$  – число наблюдений;  $m$  – число параметров уравнения регрессии;

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (\bar{Y}_i - \hat{Y}_i)^2}{\sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y}_i)^2} - \text{коэффициент}$$

детерминации;  $\hat{Y}_i$  – значения  $Y(x)$  из найденного уравнения (6).

$F_{\text{кр}} (\alpha = 0,05; f_1 = m - 1; f_2 = n - m)$  найдем по таблице распределения Фишера [3]. Для всех значений  $x$   $F_{\text{факт}} > F_{\text{кр}}$ , следовательно, модель существенна.

В зависимости от действующих сил в поле вытягивания движение волокон происходит определенным образом. Об эффективности использования исследуемых контролирующих органов будем судить при сравнении экспериментальных кривых утонения с теоретической.

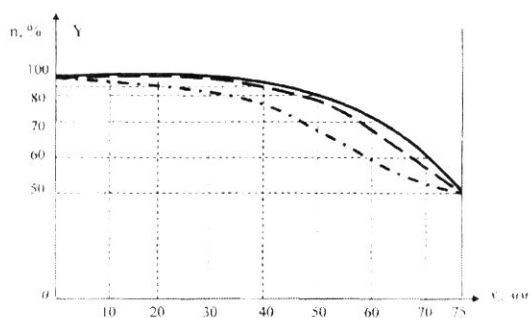


Рис. 2

Для построения теоретической кривой утонения используем табличный метод [4], для которого был принят первый вид движения волокон, а для построения экспериментальной кривой утонения – способ разрезания и взвешивания отрезков мычки (табл. 2, рис. 2, где ———— – теоретическая кривая утонения; ———— – экспериментальная кривая утонения (первый вариант); - - - - - – экспериментальная кривая утонения (второй вариант)).

Объектом исследования служила шерстяная ровница из смеси следующего состава: шерстяное волокно 35%; искусственное волокно 65%; штапельная длина волокон смеси 72 мм; линейная плотность исследуемой ровницы  $T_p = 333$  текс.

Экспериментальные кривые утонения построены с относительной доверительной ошибкой  $\delta\{Y\} < 2\%$  при  $P_D = 0,95$ .

Т а б л и ц а 2

Кривые утонения	$x_i$	0	10	20	30	40	50	60	70	75
Теоретическая	$\bar{Y}_i$	100	96,8	93,5	88,3	82,5	76,1	70,5	65,1	50
Экспериментальная 1	$\bar{Y}_i$	100	96,7	92,1	88,0	79,8	74,8	68,9	56,8	50
Экспериментальная 2	$\bar{Y}_i$	100	95,1	91,3	84,0	73,1	62,5	57,6	51,1	50

После построения теоретической и экспериментальных кривых утонения необходимо сравнить, насколько они совпадают. Чем ближе совпадают теоретическая и экспериментальная кривые утонения, тем совершеннее работает вытяжной прибор и тем больше соответствует режим его работы характеру и структуре вытягиваемого продукта.

Определим функции изменения кривых утонения, для этого аппроксимируем их под известные функциональные зависимости.

Теоретическую кривую утонения аппроксимируем уравнением регрессии второго порядка [2]:

$$F(x) = a_0 P_0(x) + a_1 P_1(x) + a_2 P_2(x), \quad (7)$$

где  $a_i$  – коэффициент регрессии;  $P_i(x)$  – полином Чебышева;

$$a_0 = \frac{\sum_{i=1}^n y_i}{n}; \quad a_1 = \frac{\sum_{i=1}^n y_i P_1(i)}{\sum_{i=1}^n P_1^2(i)};$$

$$\sum_{i=1}^n P_1^2(i) = \frac{n(n^2-1)}{12};$$

$$F(x) = \begin{cases} -0,00324x^2 - 0,3477x + 100,286, & x \in [0; 60], \\ 237e^{-0,021x}, & x \in [60; 75]. \end{cases} \quad (9)$$

$$a_2 = \frac{\sum_{i=1}^n y_i P_2(i)}{\sum_{i=1}^n P_2^2(i)};$$

$$\sum_{i=1}^n P_2^2(i) = \frac{n(n^2-1)(n^2-4)}{180};$$

$$P_0(x) = 1; \quad P_1(x) = x - \frac{n+1}{2};$$

$$P_2(x) = x^2 - (n-1)x + \frac{(n+1)(n+2)}{6}.$$

После определения полиномов и коэффициентов регрессии найдем функциональную зависимость изменения теоретической кривой утонения:

на интервале  $x \in [0; 75]$

$$F(x) = -0,0034x^2 - 0,2968x + 100,188. \quad (8)$$

Аппроксимировав аналогичным образом экспериментальные кривые утонения, будем иметь:

– для кривой утонения, рассчитанной по первому варианту:

– для кривой утонения, рассчитанной по второму варианту:

$$F(x) = \begin{cases} -0,01x^2 - 0,24x + 99,604, & x \in [0; 50], \\ 101e^{-0,0095x}, & x \in [50; 75]. \end{cases} \quad (10)$$

Полученные уравнения являются окончательными в классе полиномов. Оценим тесноту найденной связи:

$$\Theta = \sqrt{1 - \xi}, \quad \xi = \frac{SS_1}{SS_0}.$$

Корреляционное отношение  $\Theta$  для всех исследуемых вариантов близко к единице, следовательно, найденные связи близки к строго функциональным.

На интервалах, где экспериментальные кривые утонения аппроксимированы экспоненциальными зависимостями, также определялось корреляционное отношение  $\Theta$ , которое было достаточно близко к единице, следовательно, функциональная зависимость между параметрами существует.

При исследовании найденных функциональных зависимостей  $F(x)$  определили, что наибольшее сходство с теоретической кривой утонения имеет экспериментальная кривая утонения, полученная при вытягивании полуфабриката по первому варианту. Разница между соответствующими значениями последних по оси ординат составляет 5...7%. Следовательно, использование криволинейной планки в поле вытягивания способствует закономерному движению волокон за счет увеличения поля сил трения между волокнами.

## ВЫВОДЫ

1. В ходе исследований установлено, что для закономерного движения волокон в поле вытягивания эпюра напряжения поля сил трения для данного продукта должна изменяться по закону:  $q = -0,009x + 2,7$ .

2. Доказано, что использование криволинейной планки, сечением поверхности которой является логарифмическая спираль, в зоне вытяжного прибора способствует образованию необходимого поля сил трения.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Белов М.Ф. Трение хлопковых волокон в зажиме вытяжной пары и исследование задней зоны с изогнутым полем вытяжного прибора прядильной машины: Дис. ... канд. техн. наук. – М., 1964.
2. Воднев В.Т. и др. Основные математические формулы. – Мн.: Вышэйшая школа, 1988.
3. Севостьянов А.Г. Методы и средства исследования механико-технологических процессов текстильной промышленности. – М.: Легкая индустрия, 1980.
4. Зотиков В.Е., Будников И.В. Основы прядения волокнистых материалов. – М.: Гизлегпром, 1959.

Рекомендована кафедрой начертательной геометрии и черчения. Поступила 27.02.03.