

УДК 677.052

**МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ
ПРОЦЕССА ПЕРЕРАБОТКИ
НЕКРУЧЕНОЙ ОБВИТОЙ ЛЬНЯНОЙ РОВНИЦЫ
В ВЫТЯЖНОМ ПРИБОРЕ ПРЯДИЛЬНОЙ МАШИНЫ**

С.В. ПАЛОЧКИН

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

Математическое моделирование процесса вытягивания некрученной обвитой льняной ровницы в вытяжном приборе прядильной машины с учетом разрыва обвивочного компонента необходимо для прогнозирования свойств вырабатываемой пряжи.

Выполненный с учетом [1...3] теоретический анализ процесса [4, 5] позволил определить входные параметры для его моделирования (табл. 1) и математические зависимости для вычисления выходных параметров процесса: времени τ , проходящего от момента захвата обвивочного

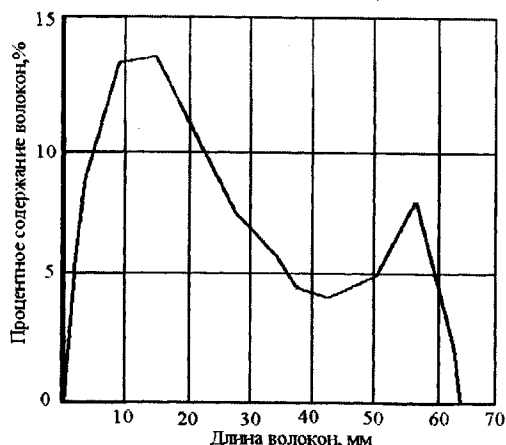


Рис. 1

Таблица 1

№ п/п	Входной параметр, его обозначение и единица измерения	Реальный характер	Метод определения значений параметров распределения
1	Линейная плотность T ровницы, текс		Из анализа результатов замеров неровноты ровницы
2	Исходный шаг t_0 обвивочной нити ровницы, мм		По результатам замеров шага на опытных образцах ровницы с контрастной обвивкой
3	Коэффициент трения f обвивочной нити по мокрому волокну сердечника	Случайные величины, параметры распределения которых соответствуют нормальному закону	Согласно данным [6]
4	Доля g остаточной деформации материала обвивочной нити после ее разрыва		На базе результатов экспериментов по определению параметров модели деформации и разрыва обвивочного компонента из комплексной вязкозной нити
5	Коэффициент b в зависимости "усилие – деформация" обвивочной нити		
6	Разрывное удлинение ϵ_r обвивочной нити		
7	Длина l волокна в льняном сердечнике, мм		Случайная величина
8	Разводка L в вытяжном приборе, мм	Детерминированные величины	Значения устанавливаются при запуске процесса на испытательном стенде для формирования обвитой некрученной ровницы
9	Скорость V_1 питающей пары вытяжного прибора, мм/с		
10	Вытяжка E		

компонента ровницы выпускной парой вытяжного прибора до его разрыва, длины S_ϕ волокон обвивочного компонента после его обрыва и выхода из вытяжного прибора и расстояния l_4 между этими волокнами.

На первом этапе исследований на базе полученных зависимостей [4, 5] создана детерминированная математическая модель процесса [8], при которой все значения входных параметров, то есть величин, регулирующих ход процесса, условно приняты постоянными и однозначно опреде-

ленными. Такая модель не позволяет получить полного представления о процессе (поскольку на практике большинство из этих величин носит случайный характер (табл. 1)), однако дает возможность определить степень влияния каждого из управляющих факторов процесса на его выходные параметры. Данная модель реализована в виде прикладной программы для ПЭВМ "DETMODEL", составленной и отлаженной в интегрированной среде программирования Delphi 4.

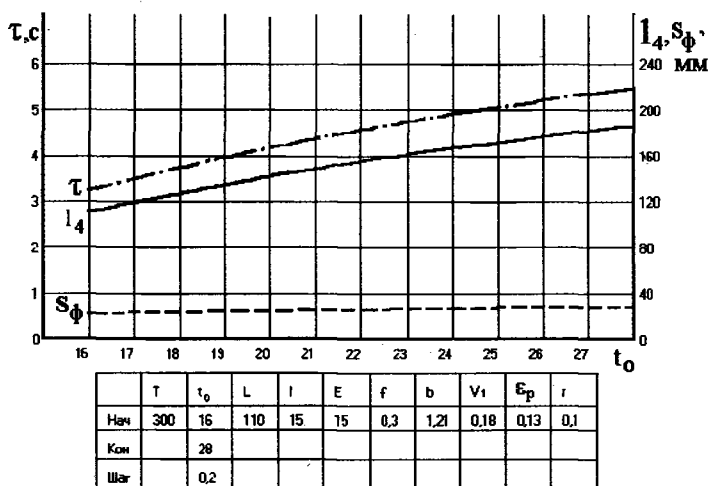


Рис. 2

На рис. 2 с помощью графиков зависимостей выходных параметров процесса от шага обвивочного компонента ровницы показан пример результатов расчетов, выполненных по этой программе, для льняной ровницы, имеющей штапельную диаграмму, представленную на рис. 1, с обвивочным компонентом из вискозы с линейной плотностью 16 текс.

Анализ полученных результатов для различных факторов модели показывает, что:

1. Время разрыва τ обвивочного компонента уменьшается с увеличением линейной плотности T ровницы и ростом вытяжки E ; увеличивается с ростом разводки L в вытяжном приборе прядильной машины, длины l волокон ровницы и шага t_0 ее обвивки комплексной вискозной нитью (рис. 2); практически не зависит от изменения доли r остаточной деформации.

2. Длина S_ϕ оторванных волокон обвивочного компонента существенно возрастает лишь с ростом длины l волокон ровницы; остальные факторы процесса почти не оказывают влияния на эту величину.

3. Расстояние l_4 , между этими волокнами увеличивается с ростом параметров E , L , l и t_0 (рис. 2) и уменьшается с ростом значений T и r .

Более полное представление об исследуемом процессе дает его вероятностная математическая модель. В нашем случае она носит корреляционный характер, так как большая часть факторов (табл. 1) и выходные параметры процесса τ , S_ϕ и l_4 имеют случайный характер. Данная вероятностная модель строится уже не только на базе аналитических зависимостей, составляющих основу алгоритма детерминированной модели, но и с учетом результатов статистической обработки данных целого

ряда экспериментальных исследований процесса.

Алгоритм такой статистической модели работает следующим образом:

1. Введем в качестве исходных данных средние значения и среднеквадратические отклонения всех нормально распределенных факторов и численные значения детерминированных входных параметров (табл. 1).

2. Закон распределения волокон в волокнистом сердечнике по длинам представляет собой штапельную диаграмму. Согласно [7] введем выбранную типовую штапельную диаграмму волокон льняного сердечника (рис. 1) в виде таблицы из 1000 ячеек, каждая из которых содержит определенное значение длины волокна. Причем количество ячеек, содержащих одно и то же значение длины, соответствует процентному содержанию этого значения на штапельной диаграмме. Например, для диаграммы на рис. 1, 14% волокон имеют по диаграмме длину 15 мм, следовательно, это значение длины будет содержать каждая из 140 ячеек таблицы и т.д.

3. Дальнейший расчет производится циклически. Количество циклов N определяется применяемой выборкой (для малой выборки $N=30$).

4. Внутри цикла для получения значений всех случайных величин, распределенных по нормальному закону, используется генератор нормально распределенных величин в виде

$$t_1 = \sqrt{-2 \ln x_1} \sin(2\pi x_2), \quad (1)$$

$$t_2 = \sqrt{-2 \ln x_2} \cos(2\pi x_1), \quad (2)$$

где t_1 и t_2 – нормально распределенные числа в диапазоне от -1 до 1; x_1 и x_2 – равномерно распределенные числа в диапазоне от 0 до 1.

Тогда нормально распределенная случайная величина со средним значением \bar{x} и среднеквадратическим отклонением C_x рассчитывается как

$$x = \bar{x} + C_x t_i, \quad (3)$$

где $i = 1$ или 2 .

5. Детерминированные величины в течение всего расчета остаются неизменными.

6. Выборку единичного значения средней длины волокна осуществляем следующим образом.

Поскольку с обивкой взаимодействуют только волокна, находящиеся на поверхности волокнистого сердечника, то единичная длина волокна должна определяться как средняя длина волокон, расположенных на его поверхности.

Считая, что диаметр волокна очень мал по сравнению с диаметром волокнистого сердечника, количество волокон на поверхности n_n составит

$$n_n = \pi R_0 / r_b, \quad (4)$$

где R_0 и r_b – радиусы сердечника и волокна льна в отбеленной ровнице.

Выразив радиусы согласно [9] через линейные плотности T_p сердечника и волокна T_b с учетом того, что объемная плотность ровницы равна $0,6 \text{ мг/мм}^3$, а волокна $1,3 \text{ мг/мм}^3$, соответственно получим

$$n_n = 1,472\pi \sqrt{T_p / T_b}, \quad (5)$$

где T_p – линейная плотность ровницы; T_b – линейная плотность элементарного льняного волокна после варки и беления.

При этом общее количество n_0 волокон в сердечнике, очевидно:

$$n_0 = T_p / T_b = 5T_p, \quad (6)$$

поскольку линейная плотность элементарного льняного волокна после варки и беления $T_b = 0,2 \text{ текс}$ [9].

Выборку N_n случайных значений длин волокон на поверхности сердечника из таблицы в 1000 ячеек, созданной на базе штапельной диаграммы, определим как пропорцию

$$N_n = (n_n / n_0) \cdot 1000. \quad (7)$$

Далее специальным образом генерируется N_n равномерно распределенных случайных чисел x . Целая часть произведения

$$N_b = \text{int}(N_n x) \quad (8)$$

используется как номер ячейки в таблице для выбора длины волокна.

Наконец единичное значение средней длины волокна, используемое в расчетном цикле, вычислим как среднеарифметическое описанной выборки N_n случайных длин волокон из штапельной диаграммы.

7. Далее, используя алгоритм детерминированной модели, рассчитаем единичные для данного цикла случайные значения выходных параметров τ , S_ϕ и l_4 , выбрав в качестве исходных данных полученные единичные значения всех факторов.

8. По окончании N -циклов расчета случайных единичных значений параметров τ , S_ϕ и l_4 произведем расчет их средних значений и среднеквадратических отклонений, которые и являются выходными параметрами вероятностной статистической модели.

На базе описанного алгоритма статистической модели процесса составлена и в интегрированной среде программирования Delphi 4 отлажена программа "STAT-MODEL", реализующая на ПЭВМ обобщенную модель процесса вытягивания некрученной обвитой льняной ровницы.

Программа позволяет производить следующее:

- расчет τ , S_ϕ и l_4 по алгоритму статистической модели с выводом результатов в отдельный текстовый файл для каждого параметра. В этом же файле приводятся результаты расчета среднего значения параметра в файле и его среднего квадратического отклонения. Число повторностей расчета задается пользователем в диалоговом режиме;

- расчет зависимости τ от одного из шести параметров T , E , L , l , t_0 , r при фиксированных значениях остальных по алгоритму детерминированной модели. Выбор параметра, шага и диапазона его изменения производятся пользователем в диало-

говом режиме. Результаты расчета выводятся на экран дисплея в виде графика соответствующей зависимости;

- расчет зависимости τ от одного из шести параметров T , E , L , l , t_0 , r по алгоритму статистической модели. Все факторы кроме одного, выбранного в качестве аргумента, изменяются случайным образом с законами распределения, принятыми при построении статистической модели. Результаты расчетов выводятся в виде отдельных точек на графике соответствующей зависимости. Там же указывается точка, соответствующая среднему значению τ при текущем значении варьируемого параметра. Выбор варьируемого параметра, шага и диапазона его изменения и числа повторностей расчета для каждого значения варьируемого параметра производится пользователем в диалоговом режиме.

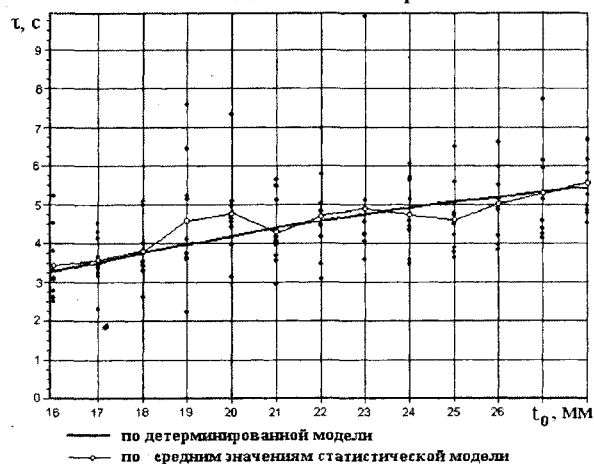


Рис. 3

На рис. 3 приведены зависимости τ от фактора t_0 , полученные при проведении расчетов по программе "STATMODEL" для ровницы с обвивочным компонентом из вискозы, имеющей линейную плотность 16 текс.

Полученные графики иллюстрируют диапазон рассеивания значений τ при случайном изменении влияющих на этот параметр величин. В ходе вычислений также установлено, что при увеличении количества повторностей расчетов по статистической модели до 100 и более средние значения τ не приближаются к значениям, полученным по детерминированной модели.

Это объясняется тем, что при расчетах τ используется длина l волокон, которая распределена не по нормальному закону.

Для оценки адекватности моделирования исследуемого процесса удобно сравнивать расчетные и экспериментальные значения τ – времени разрыва обвивочного компонента ровницы в вытяжном приборе прядильной машины.

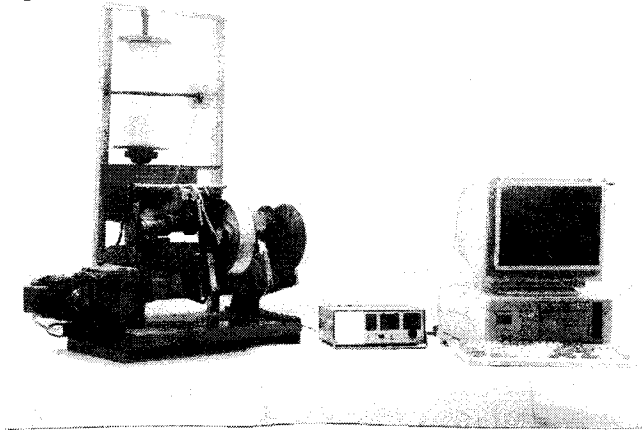


Рис. 4

Измерения τ проводились на опытном стенде (рис. 4), созданном на основе вытяжного прибора прядильной машины ПМ-88-Л8, с программно-аппаратным комплексом для автоматизированного проведения измерений и обработки их результатов в виде графиков зависимости силы вытягивания ровницы от времени. Значения τ определяли по графикам как расстояние между пиками нагрузки, соответствующими разрывам обвивочного компонента ровницы.

Эксперименты проводили для беленой обвитой ровницы трех линейных плотностей 400, 800 и 1200 текс с обвивкой вискозной комплексной нитью, имеющей линейную плотность 16 текс, при четырех уровнях варьирования шага обвивки: 14, 18, 22 и 26 мм. В ходе проведения опытов на стенде устанавливали разводку 97мм и вытяжку 10.

Полученные по результатам эксперимента выборки 30 значений τ сравнивались с расчетными значениями τ (расчеты проводили по статистической модели при тех же значениях регулируемых факторов исследуемого процесса). Для определения равнозначности двух полученных рядов

случайных величин сравнивали их дисперсии по критерию Фишера, а при доказанной гипотезе об их равнозначности для проверки гипотезы о равенстве средних значений использовали критерий Стьюдента [10]. Гипотезы считаются доказанными, если расчетные значения критериев не превышают их табличных величин.

Для сравниваемых выборок при доверительной вероятности $P_d = 0,95$ табличные значения критериев Фишера и Стьюдента соответственно составили $F_T = 1,85$ и $t_T = 2,0$ [10].

Анализ расчетных значений обоих критериев для каждого варианта испытаний с их табличными значениями показал, что требуемые условия достоверности гипотез выполняются для всех вариантов. Следовательно, можно утверждать, что разработанная модель достаточно адекватно отражает исследуемый процесс или достоверна с доверительной вероятностью 95%.

ЛИТЕРАТУРА

1. Минаков А.П. Основы теории наматывания и сматывания нити. – М.: Текстильная промышленность, 1944, № 10.
 2. Михайлов Б.С., Севостьянов А.Г. Теория и практика штапельирования жгута методом разрыва. – М.: Легкая индустрия, 1971.
 3. Мигушов И.И. Механика текстильной нити и ткани. – М.: Легкая индустрия, 1980.
 4. Палочкин С.В. // Вестник КГТУ. – Кострома, 1999, №1.
 5. Палочкин С.В. // Вестник КГТУ. – Кострома, 2000, №2.
 6. Прядение льна и химических волокон: Справочник / Под ред. Л.Б. Карякина, Л.Н. Гинзбурга – М.: Легпромбытиздат, 1991.
 7. Лазарева С.Е., Королева Н.Д., Фридлянд Г.И. и др. Прядение льна с варкой ровницы. – М.: Легкая индустрия, 1966.
 8. Палочкин С.В., Рудовский П.Н. // Вестник КГТУ. – Кострома, 2001, №3.
 9. Кукин Г.Н., Соловьев А.Н. Текстильное материаловедение. Часть II. – М.: Легкая индустрия, 1964.
 10. Севостьянов А.Г. Методы и средства исследования механико-технологических процессов текстильной промышленности. – М.: Легкая индустрия, 1980.
- Рекомендована кафедрой механической технологии волокнистых материалов. Поступила 14.12.01.