

## МОДЕЛИРОВАНИЕ РАССОРТИРОВКИ ВОЛОКОН ШЕРСТИ ПО ДЛИНЕ ПРИ ГРЕБНЕЧЕСАНИИ С УЧЕТОМ ИХ РАЗРЫВА

Е.И. БИТУС

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

Известно [1...3], что практические результаты гребнечесания при выполнении общих закономерностей теории рассортировки волокон существенно отличаются от теоретических. Одной из основных причин этого расхождения является разрыв волокон, связанный с действием как гребенного барабанчика, так и верхнего гребня при отделении.

Разрыв волокон гребенным барабанчиком вызывает увеличение количества гребенного очеса. Разрыв волокон, происходящий при их отделении, приводит к появлению коротких волокон в гребенной ленте, то есть нарушает условия рассортировки волокон и в некоторой степени снижает выход гребенной ленты.

В модели [4] и в ряде других моделей разрыва волокон при гребнечесании принимается равномерное распределение точек разрыва по всей длине волокна, также в них не учитывается перемещение бороздки в период ее чесания верхним гребнем, перемещение самого гребня и изменение его расстояния от тисков, что не соответствует технологическому режиму гребнечесания шерсти.

В данной работе на основании проведенного анализа процесса гребнечесания шерсти и исследования факторов, влияющих на его результаты, предлагается уточнение теории рассортировки волокон с учетом их разрыва и модели гребнечесания в целом.

В настоящее время на большинстве гребнечесальных машин периодического действия для шерсти основные процессы осуществляются в первом и третьем периодах: в первом периоде – чесание передних концов волокон гребенным барабанчиком; в третьем – чесание середины и задних концов волокон верхним гребнем и гребнем питания с одновременным отво-

дом волокон и питанием, то есть подачей волокнистой бороздки на заданную длину питания вперед к отделительным цилиндрам. Взаимная согласованность этих процессов обеспечивает равномерный захват волокон при отделении.

Установлено [5], что в процессе гребнечесания шерсти при чесании волокон верхним гребнем в ходе отделения разрыв волокон значительно больше, чем при чесании гребенным барабанчиком, и зависит от длины волокон.

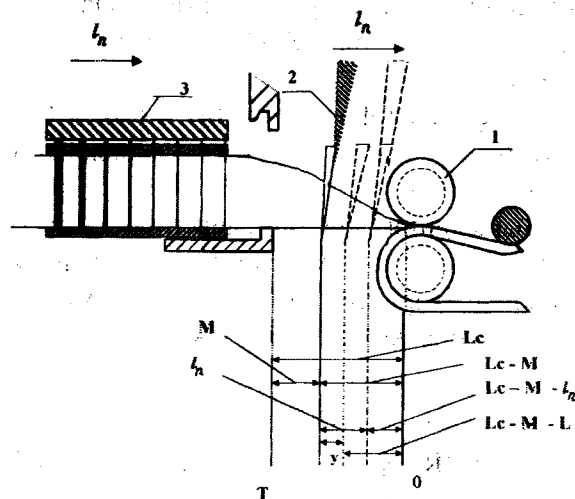


Рис. 1

На рис. 1 представлена схема отделения волокон на гребнечесальной машине при протаскивании их отделительными цилиндрами 1 через верхний гребень 2 и гребень питания 3. На участке между верхним гребнем и линией зажима цилиндров напряжение волокон максимально и поэтому на нем наблюдается наиболее высокий разрыв волокон в начальный момент процесса отделения и захвата их отделительными цилиндрами. Это подтверждено экспериментально [5].

Длина этого участка изменяется от  $L_c - M$  до  $L_c - M - l_n$  (от начала до конца питания), где  $L_c$  – величина зоны сортировки

22...30 мм;  $l_n$  – величина питания 5...9 мм;  $M$  – расстояние между нижней губкой тисков и линией опускания верхнего гребня 7...11 мм.

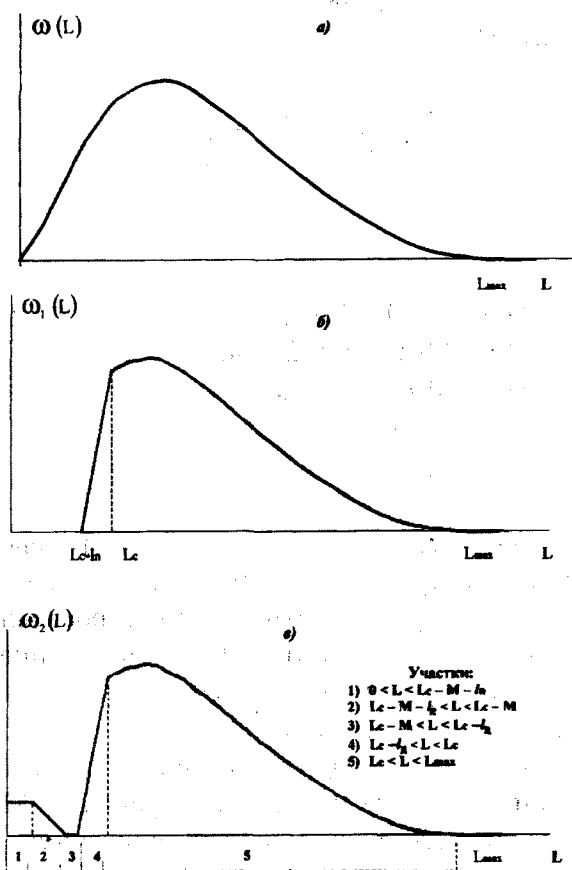


Рис. 2

Введем обозначения:  $\omega(L)$  – дифференциальный закон распределения волокон по длине (по числу волокон) – (ДЗРВД) в продукте, поступающем в гребнечесальную машину, (рис.2-а);  $\omega_1(L)$  – ДЗРВД, попадающих в зажим отделительных цилиндров, (рис. 2-б);  $\omega_2(L)$  – ДЗРВД в гребенной ленте, (рис. 2-в).

Теоретический анализ рассортировки и разрыва волокон в процессе гребнечесания проводится с использованием законов теории вероятности. Новый ДЗРВД при этом получается с помощью закона больших чисел, то есть умножением исходного ДЗРВД на соответствующую вероятность.

Для получения  $\omega_1(L)$  выделим 3 участка (рис. 2-б):

- 1)  $0 < L \leq L_c - l_n$ ;
- 2)  $L_c - l_n < L \leq L_c$ ;
- 3)  $L_c < L \leq L_{max}$ .

Все волокна, длина которых принадлежит 1-му участку, идут в очес. Все волокна, длина которых принадлежит 3-му участку, идут в гребенную ленту. Поэтому на первом участке  $\omega_1(L) = 0$ , на третьем участке  $\omega_1(L) = \omega(L)$ .

Волокна, длина которых принадлежит участку 2, могут с некоторой вероятностью попасть как в очес, так и в гребенную ленту. Поэтому данный участок называется участком неточной сортировки.

Пусть у волокна длиной  $L$ , где  $(L_c - l_n < L \leq L_c)$ , в последнем цикле прочесываемого гребенным барабанчиком, задний конец находится на расстоянии  $Z$  за линией зажима тисков, где  $0 \leq Z \leq l_n$ . Тогда передний конец волокна попадет в зажим отделительных цилиндров при отделении, если выполняется условие

$$L + l_n - Z > L_c.$$

Отсюда для  $Z$ :

$$0 \leq Z \leq L - L_c + l_n.$$

Считая величину  $Z$  равномерно распределенной в интервале  $[0; l_n]$ , получаем, что вероятность невычесывания равна

$$P_{нев}(L) = \frac{L - L_c + l_n}{l_n}. \quad (1)$$

Поэтому дифференциальная функция распределения числа волокон по длине на 2-м участке:

$$\omega_1(L) = \omega(L) \frac{L + l_n - L_c}{l_n}.$$

Окончательно для  $\omega_1(L)$  имеем

$$\omega_1(L) = \begin{cases} 0 & \text{при } 0 < L \leq L_c - l_n, \\ \omega(L) \frac{L + l_n - L_c}{l_n}, & \\ \omega(L) & \text{при } L_c < L \leq L_{max}. \end{cases} \quad (2)$$

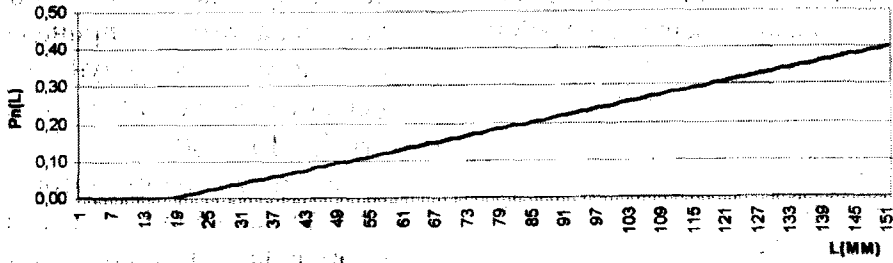


Рис. 3

При расчете ДЗРВД в гребенной ленте  $\omega_2(L)$  будем считать, что на участке между верхним гребнем и отделительными цилиндрами осуществляется однократный разрыв волокна в момент захвата его отделительными цилиндрами. Вероятность разрыва  $P(L)$  при отделении (рис. 3) увеличивается с ростом длины волокна  $L$  и зависимость эта близка к линейной, как показала обработка экспериментальных данных методом наименьших квадратов (исследования проводили на ленте из мериносовой шерсти 64 качества 1-2 длины, нормальной). Будем считать, что точка разрыва равномерно распределена в интервале между верхним гребнем и отделительными цилиндрами.

Для получения плотности распределения волокон по длине в аналитическом виде введем в рассмотрение 5 участков (рис.2-в):

- 1)  $0 < L \leq L_c - M - l_n$ ,
- 2)  $L_c - M - l_n < L \leq L_c - M$ ,
- 3)  $L_c - M < L \leq L_c - l_n$ ,
- 4)  $L_c - l_n < L \leq L_c$ ,
- 5)  $L_c < L \leq L_{max}$ .

В интервалах 1) и 2) вклад в  $\omega_2(L)$  дают лишь передние концы разорванных волокон. Пусть  $y$  – расстояние, на которое было продвинуто волокно в последнем цикле подачи до момента захвата его отделительными цилиндрами. Так как  $0 \leq y \leq l_n$ , то длина, на которой с вероятностью  $P(L)$  происходит разрыв волокна, равна  $L_c - M - y$ , то есть равномерно уменьшается в цикле подачи от  $L - M$  до  $L_c - M - l_n$ .

В интервале 1) вклад в  $\omega_2(L)$  осуществляется на протяжении всего периода отделения. Поэтому в интервале 1):

$$\omega_2(L) = \frac{1}{l_n} \int_0^{l_n} \frac{dy}{L_c - M - y} \int_{L_c - l_n}^{L_{max}} \omega_1(l) P(l) dl = \frac{1}{l_n} \ln \frac{L_c - M}{L_c - M - l_n} \int_{L_c - l_n}^{L_{max}} \omega_1(l) P(l) dl. \quad (3)$$

В этом интервале  $\omega_2(L)$  постоянна (рис. 2-в).

В интервале  $L_c - M - l_n < L \leq L_c - M$  вклад в  $\omega_2(L)$  осуществляется лишь при измене-

нии  $y$  от 0 до  $L_c - M - L$ . Поэтому в интервале 2) имеем

$$\omega_2(L) = \frac{1}{l_n} \int_0^{L_c - M - L} \frac{dy}{L_c - M - y} \int_{L_c - l_n}^{L_{max}} \omega_1(l) P(l) dl = \frac{1}{l_n} \ln \frac{L_c - M}{L} \int_{L_c - l_n}^{L_{max}} \omega_1(l) P(l) dl. \quad (4)$$

В интервале 2)  $\omega_2(L)$  монотонно убывает от  $\omega_2(L_c - M - l_n)$  до 0 (рис. 2-в).

В интервале 3) дифференциальная функция распределения тождественно равна нулю:

$$\omega_0(L) = 0 \quad (\text{рис. 2-в}),$$

так как передних концов данной длины при разрыве не возникает, а задние концы

данной длины будут вычесаны гребенным барабанчиком.

В интервале 4) вклад в  $\omega_2(L)$  дают волокна длиной  $L$ , прошедшие прямой гребень без разрыва, и задние концы длиной  $L$  волокон длиной  $L + \ell'$ , у которых при чесании прямым гребнем был оторван передний конец длины  $\ell'$ , где

$$0 < \ell' \leq L_c - M.$$

$$\begin{aligned} \omega_2(L) &= (1 - P(L))\omega_1(L) + \frac{L - L_c + \ell_n}{\ell_n} \left( \frac{1}{\ell_n} \int_0^{\ell_n} \frac{dy}{L_c - M - y} \int_0^{L_c - M - \ell_n} \omega_1(L + \ell') P(L + \ell') d\ell' + \right. \\ &+ \left. \frac{1}{\ell_n} \int_{L_c - M - \ell_n}^{L_c - M} \int_0^{L_c - M - \ell'} \frac{dy}{L_c - M - y} \omega_1(L + \ell') P(L + \ell') \right) = \\ &= (1 - P(L))\omega_1(L) + \frac{L - L_c + \ell_n}{\ell_n^2} \left( \ln \frac{L_c - M}{L_c - M - \ell_n} \int_0^{L_c - M - \ell_n} \omega_1(L + \ell') P(L + \ell') d\ell' + \right. \\ &+ \left. \int_{L_c - M - \ell_n}^{L_c - M} \ln \frac{L_c - M}{L_c - M - \ell'} \omega_1(L + \ell') P(L + \ell') d\ell' \right). \end{aligned} \quad (5)$$

Сделав замену  $L + \ell' = \ell$ , для  $\omega_2(L)$  на

интервале 4) окончательно получаем

$$\begin{aligned} \omega_2(L) &= (1 - P(L))\omega_1(L) + \frac{L - L_c + \ell_n}{\ell_n^2} \left( \ln \frac{L_c - M}{L_c - M - \ell_n} \int_L^{L + L_c - M - \ell_n} \omega_1(\ell) P(\ell) d\ell + \right. \\ &+ \left. \int_{L + L_c - M - \ell_n}^{L + L_c - M} \ln \frac{L_c - M}{\ell - L} \omega_1(\ell) P(\ell) d\ell \right). \end{aligned} \quad (6)$$

Аналогичное выражение имеет место в интервале 5) с той разницей, что здесь ве-

роятность вычесывания заднего конца гребенным барабанчиком равна нулю:

$$\begin{aligned} \omega_2(L) &= (1 - P(L))\omega_1(L) + \frac{1}{\ell_n} \left( \ln \frac{L_c - M}{L_c - M - \ell_n} \int_L^{\min\{L \max, L + L_c - M - \ell_n\}} \omega_1(\ell) P(\ell) d\ell + \right. \\ &+ \left. \int_{L + L_c - M - \ell_n}^{\min\{L \max, L + L_c - M\}} \ln \frac{L_c - M}{\ell - L} \omega_1(\ell) P(\ell) d\ell \right). \end{aligned} \quad (7)$$

Таким образом, дифференциальная функция распределения волокон по длине в гребенной ленте определяется по формулам (3...7) при использовании дифференциальной функции распределения волокон в исходном продукте  $\omega(L)$  и параметров

заправки машины  $L_c$ ,  $\ell_n$  и  $M$ . Соответствующая ей штапельная диаграмма приведена на рис.4.

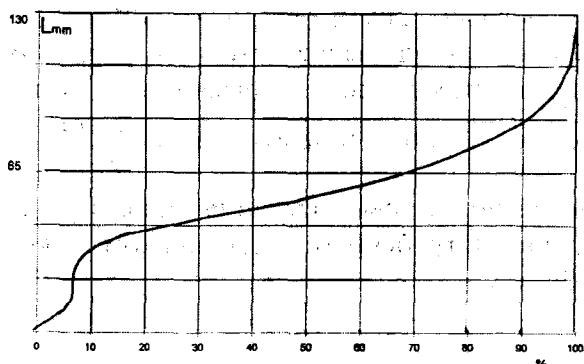


Рис. 4

В процессе гребнечесания часть волокон вычесывается и возникает необходимость в вычислении массы вычесанных волокон. Введенная дифференциальная функция распределения позволяет это сделать, если принять вполне допустимое для однородной мериносовой шерсти условие, что масса волокна пропорциональна его длине. Тогда масса волокон шерсти про-

порциональна интегралу  $\int_0^{L_{max}} L\omega(L)dL$ . Раз-

ность между этим интегралом и аналогичным интегралом для дифференциальной функции распределения волокон в гребенной ленте после гребнечесания позволяет определить массу вычесанных волокон, то есть количество гребенного очеса.

Для повышения точности оценки доли волокон, поступающих в гребенную ленту и в очес при их рассортировке в процессе гребнечесания, целесообразно решение задачи аппроксимации входной дифференциальной функции распределения волокон по длине [6].

Разработанная математическая модель гребнечесания была реализована в среде "Excel". Экспериментальная проверка полученной модели на камвольных предпри-

ятиях показала достаточно близкое совпадение теоретических расчетов с производственными данными.

## ВЫВОДЫ

1. Уточнена теория рассортировки волокон по длине при гребнечесании с учетом их разрыва и получены формулы для расчета плотности распределения волокон по длине в гребенной ленте, учитывающие разрыв волокон в момент их захвата на протяжении всего периода питания.

2. Разработана математическая модель, которую можно использовать для прогнозирования и оптимизации рассортировки волокон по длине и выхода гребенной ленты при гребнечесании шерсти.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Гусев В.Е., Музылев Л.Т., Эммануэль М.В., Слываков В.Е. Прядение шерсти и химических волокон. – М.: Легкая индустрия, 1974.
2. Протасова В.А., Бельшев Б.Е., Капитанов А.Ф. Прядение шерсти и химических волокон. – М.: Легпромбытиздат, 1988.
3. Севостьянов А.Г. Оценка эффективности и интенсивности процесса гребнечесания // Науч.-исследоват. тр. МТИ – 1956, т. XVII.
4. Штут И.И. // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 1976, №5.С.35...37.
5. Битус Е.И. Разработка методов снижения разрыва волокон и повышение выхода ленты в процессе гребнечесания шерсти: Дис....канд. техн. наук. – М.: МТИ, 1982.
6. Битус Е.И., Епифанов А.Д., Нестерова И.В. // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 1997, №4.С.26...29.

Рекомендована кафедрой механической технологии волокнистых материалов. Поступила 07.06.02.