УДК 677.023

ДВОЙНАЯ ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА ПАРТИОННОГО СНОВАНИЯ

В.Л. МАХОВЕР, Л.Б.ТИХАНОВСКАЯ

(Ивановская государственная текстильная академия)

Для получения максимальной производительности партионной сновальной машины применяют оптимизацию процесса по величине ставки бобин, определяя ее по известной формуле В.А. Гордеева [1]. При этом обрывность a (в расчете на 1 млн м одиночной нити) для данной скорости снования и вида пряжи принимается не зависящей от величины ставки, а распределение обрывов по длине шпулярника – равномерным.

Поскольку число обрывов P при наматывании сновального вала, а следовательно, и величина a, зависят от скорости V [2,3], существует другая методика оптимизации [4] – по скорости снования при неизменной величине ставки бобин.

Рассмотрим обобщенную методику совместной оптимизации процесса как по величине ставки бобин, так и по скорости снования.

Фактическая производительность сновальной машины (в валах за смену) [5]:

$$\Pi = (\tau_о - \tau_в) \ / \left[F + \tau + (G\, t_c) \ / \ (n_c G_б)\right], \quad (1)$$

где

$$F = \left[G \cdot 10^6 (1 + 0{,}01\varepsilon) \ / \ (2bT_н Vn)\ \right] + t\,P + C\sum_{i=1}^{n} i\,k_i, \quad (2)$$

$$P = G\,a\ (1 + 0{,}01\varepsilon) / T_н. \quad (3)$$

Обозначения входящих сюда величин приведены в [5].

При любой фиксированной скорости снования экспериментальное распределение обрывов по вертикальным рядам шпулярника принимаем равномерным: $k_{эi} = P / n_э$, $i = 1, 2, ..., n_э$. Тогда при любом числе n вертикальных рядов бобин по методике [6] будем иметь $k_i = P / n$, $i = 1, 2, ..., n$.

При этом

$$\sum_{i=1}^{n} i\,k_i = P(n+1)/2 \quad (4)$$

и функция (2) с учетом (3) примет вид

$$F(n, V) = \frac{G(1 + 0{,}01\varepsilon)}{2T_н} \cdot \left[\frac{10^6}{b\,Vn} + a(2t + Cn + C)\right]. \quad (5)$$

Согласно [2, 3] суммарное число P обрывов нитей за период наработки сновальной паковки возрастает с увеличением скорости снования V. В определенном диапазоне ее изменения эта зависимость выражается полиномом второй степени:

$$P = A + A_0\,V + A_1\,V^2, \quad (6)$$

где скорость V, м/с; A, A_0, A_1 – постоянные экспериментальные коэффициенты, или чаще всего линейной функцией при $A_1 = 0$.

Принимаем

$$P = A + A_0 V \ . \quad (7)$$

Тогда из (3) и (7)

$$a = \alpha + \alpha_0 V \ , \quad (8)$$

где

$$\alpha = AT_н / [G(1 + 0{,}01\varepsilon)] \ , \quad \alpha_0 = A_0 T_н / [G(1 + 0{,}01\varepsilon)] \ . \quad (9)$$

После подстановки (8) в (5) имеем:

$$F(n, V) = \frac{G(1 + 0{,}01\varepsilon)}{2T_н}\left[\frac{10^6}{bVn} + (\alpha + \alpha_0 V)(2t + Cn + C)\right]. \quad (10)$$

Минимум функции (10) соответствует максимуму производительности (1). Взяв частные производные $\partial F/\partial n$ и $\partial F/\partial V$ и приравняв их к нулю, получим систему двух алгебраических уравнений для определения оптимальных значений $n_{опт}$ и $V_{опт}$:

$$C(\alpha + \alpha_0 V) = 10^6 / (bVn^2) \ , \quad (11)$$

$$\alpha_0 (2t + Cn + C) = 10^6 / (bnV^2). \quad (12)$$

Заметим, что при $V = const$, величина $a = \alpha + \alpha_0 V = const$ и, имея в виду зависимость $n = m/2b$ [5], из (11) получаем упомянутую выше формулу из [1].

Покажем, что при $n = const$, из (12) вытекает формула для определения оптимальной скорости снования [4], которая в наших обозначениях будет

$$V_{опт} = \sqrt{L / (A_0 \bar{t})} \ , \quad (13)$$

где L – длина снования нитей, $\bar{t}$ – среднее *время простоя машины из-за ликвидации* обрыва нити.

Действительно, согласно (9) и (11) из [5] с учетом (4):

$$\bar{t} = t + (C\sum_{i=1}^{n} ik_i)/P = t + C\,\frac{n+1}{2}, \quad (14)$$

$$L = G \cdot 10^6 (1 + 0{,}01\varepsilon)/(2bnT_н). \quad (15)$$

Следовательно, $2t + Cn + C = 2\bar{t}$ и после подстановки этого равенства и второй из формул (9) в (12) с учетом (15) находим

$$A_0 \bar{t} = L / V^2, \quad (16)$$

откуда и получается формула (13).

Таким образом, уравнения (11) и (12) включают в себя в качестве частных случаев известные формулы оптимизации процесса партионного снования как по величине ставки бобин (при $V = const$), так и по скорости снования (при $n = const$). Для проведения оптимизации процесса по обоим указанным параметрам, считая их независимыми переменными, совместно решим (11) и (12).

Из уравнения (12)

$$V = 10^3 / \sqrt{\alpha_0 bn(2t + Cn + C)} \ . \quad (17)$$

После подстановки этого выражения в (11) и несложных преобразований, исключающих радикалы, приходим к алгебраическому уравнению четвертой степени:

$$n^4 + \beta n^3 - \beta_0 = 0, \quad (18)$$

где

$$\beta = \left(1 + 2\frac{t}{C}\right), \quad \beta_0 = 10^6 \alpha_0 \beta^2 / (C\alpha^2 b). \quad (19)$$

Величины β и β_0 положительны (поскольку $\alpha_0 > 0$), а уравнение (18) имеет одну перемену знаков в ряду своих коэффициентов. Поэтому согласно теореме Декарта [7] оно имеет один положительный корень, который и подлежит определению.

Способом Феррари [7, с.295] искомое решение данного уравнения рассчитывается по формуле

$$n_{опт} = \sqrt{\frac{1}{4}\left(\frac{\beta}{2} + B_1\right)^2 - \left(\frac{y_0}{2} + B\right)} - \frac{1}{2}\left(\frac{\beta}{2} + B_1\right), \tag{20}$$

где

$$y_0 = \sqrt[3]{\beta_0}\left(\sqrt[3]{-\frac{\beta^2}{2} + \sqrt{\frac{\beta^4}{4} + \frac{64\beta_0}{27}}} + \sqrt[3]{-\frac{\beta^2}{2} - \sqrt{\frac{\beta^4}{4} + \frac{64\beta_0}{27}}}\right), \tag{21}$$

$$B = -\sqrt{\frac{{y_0}^2}{4} + \beta_0}, \qquad B_1 = \sqrt{\frac{\beta^2}{4} + y_0}. \tag{22}$$

После определения оптимальной величины $n_{опт}$ вертикальных рядов шпулярника оптимальная скорость $V_{опт}$ снования рассчитывается по формуле (17).

Рассмотрим оптимизацию процесса партионного снования хлопчатобумажной пряжи $T_н$ = 18,5 текс при числе нитей m = 412 и длине снования L= 25000 м [3]. В интервале $140 \le V \le 700$ м/мин ($2{,}333 \le V \le 11{,}667$ м/с) параболическая зависимость числа обрывов от скорости снования, соответствующая варианту II [3], может быть аппроксимирована с погрешностью менее 5% линейной функцией (7) при A= 7,98 с/м и A_0= -17,9. Полагая ε = 0,3% и G = 190 кг, по формулам (9) находим: $\alpha = -1{,}737$ и $\alpha_0 = 0{,}775$. Величина α_0 выражена в обрывах на 1 млн. м одиночной нити, с/м, а величина α имеет размерность а.

Принимаем шпулярник Ш-616-2, где b =7. Время ликвидации обрыва на среднем (15-м) ряду шпулярника составляет 42 с [3], поэтому полагаем t= 30 и C = 0,8 с ($\bar{t}$ = 30+15 0,8 = 42 с). По формулам (19), (21), (22), (20) и (17) последовательно получаем: β = 76; $\beta_0 = 264,936\cdot10^6$; y_0 = -1441,1626; B = -16292,8; B_1= =1,684; $n_{опт}$ = 112 и $V_{опт}$ = 3,308 м/с (198 м/мин). По формуле (10) $F(n_{опт}, V_{опт})$ = 2626,3386 с, а по формуле (1) при τ_o = 28800; τ_b =1434; τ = 520; τ_c = 9 с; n_c = 3; $G_б$= 1,4 кг [6] максимальная производительность $П_{max}$ = 7,701 валов в смену, или 7,701·190 / 8 = 189,2 кг/ч.

В подавляющем большинстве случаев, как и в приведенном примере, рассчитанное количество рядов шпулярника получается значительно превышающим емкость шпулярника. Поэтому рассмотрим условную оптимизацию процесса, то есть поиск наибольшей производительности $П'_{max}$ сновальной машины в определенных (заданных) границах скорости снования и величины ставки бобин.

Пусть $V_н$ и $V_в$ – нижний и верхний уровни скорости снования при экспериментальном определении функции (8), а $n_{доп}$ – максимально допустимое количество вертикальных рядов шпулярника.

Тогда условная оптимизация проводится при ограничениях:

$$V_н \le V \le V_в, \tag{23}$$

$$n_з \le n_{доп}, \tag{24}$$

где $n_з$ – заданное (принятое) число вертикальных рядов шпулярника ($n_з = m/(2b)$).

Для проведения условной оптимизации разобьем с определенным шагом весь диапазон (23) изменения скорости снования на отдельные значения V. Каждому из них согласно формуле (8) соответствует своя величина $a(V)$.

Далее заметим, что при фиксированной скорости снования производная $\partial F/\partial n$ от функции (10) будет отрицательной, если

$$n < n'_{опт} = 10^3 / \sqrt{bVCa(V)} \quad . \qquad (25)$$

При этом функция (10) с ростом n будет убывать и при $n = n'_{опт}$ достигать своего наименьшего значения. Следовательно, если для данной скорости снования в интервале (23) $n'_{опт}$ окажется меньше $n_{доп}$, то в качестве оптимального количества n^* рядов шпулярника следует принять $n'_{опт}$.

Часто $n'_{опт}$, рассчитанное по формуле (25) для скоростей снования в интервале (23), превышает $n_{доп}$ и поэтому функция (10) убывает с ростом n вплоть до $n = n_з$. Оптимальное количество рядов шпулярника в этих случаях $n^* = n_з$.

После определения в интервале (23) величин n^* по формуле (10) рассчитываются соответствующие функции $F(n^*, V)$. Затем из всех значений F выбирается F_{min}, чему соответствует при ограничениях (23) и (24) наибольшая производительность Π'_{max} сновальной машины. Скорость снования и число рядов шпулярника, при которых получена F_{min}, принимаются за окончательные оптимальные величины n^*и V^*.

Отметим, что при найденном n^*условно оптимальную скорость V^* можно уточнить, рассчитав ее по формуле (17). Если эта расчетная скорость $V'_{опт}$ не выходит за пределы (23), то в качестве V^* можно принять значение $V'_{опт}(n^*)$. В противном случае оптимальной остается скорость V^*, соответствующая $F_{min}(V^*, n^*)$.

В качестве примеров применения изложенной методики условной оптимизации процесса партионного снования в табл.1 приведены расчетные результаты, основанные на различных вариантах экспериментальных данных [2].

Таблица 1

<table>
<tr><td rowspan="2">Номер варианта оптимизации</td><td>V, м/мин</td><td>300</td><td>350</td><td>400</td><td>450</td><td>500</td><td>550</td><td>600</td><td>650</td><td>700</td></tr>
<tr><td>V, м/с</td><td>5,0</td><td>5,833</td><td>6,667</td><td>7,5</td><td>8,333</td><td>9,167</td><td>10,0</td><td>10,833</td><td>11,667</td></tr>
<tr><td rowspan="4">1</td><td>a(V)</td><td>2,931</td><td>3,794</td><td>4,658</td><td>5,521</td><td>6,384</td><td colspan="4" rowspan="4">V'_{опт}=(44) = 5,71 м/с
V*(44) = 5,71 м/с
(342,6 м/мин)</td></tr>
<tr><td>n'_{опт}</td><td>110,4</td><td>89,8</td><td>75,8</td><td>65,6</td><td>57,9</td></tr>
<tr><td>n* = n_з</td><td>44</td><td>44</td><td>44</td><td>44</td><td>44</td></tr>
<tr><td>F(n_з), с</td><td>3827</td><td>3786</td><td>3841</td><td>3960</td><td>4122</td></tr>
<tr><td rowspan="4">2</td><td>a(V)</td><td>1,752</td><td>2,530</td><td>3,309</td><td>4,087</td><td>4,865</td><td>5,644</td><td>6,422</td><td colspan="2" rowspan="4">V'_{опт}(42)=6,21 м/с
V*(42)=6,21 м/с
(372,7 м/мин)</td></tr>
<tr><td>n'_{опт}</td><td>142,8</td><td>110,0</td><td>89,9</td><td>76,9</td><td>66,4</td><td>58,7</td><td>52,7</td></tr>
<tr><td>n* = n_з</td><td>42</td><td>42</td><td>42</td><td>42</td><td>42</td><td>42</td><td>42</td></tr>
<tr><td>F(n_з), с</td><td>3478</td><td>3380</td><td>3382</td><td>3452</td><td>3567</td><td>3716</td><td>3892</td></tr>
<tr><td rowspan="4">3</td><td>a(V)</td><td colspan="2" rowspan="4">V'_{опт}(42)=5,86 м/с
V*(42)=6,67 м/с
(400 м/мин)</td><td>1,553</td><td>2,428</td><td>3,302</td><td>4,178</td><td>5,053</td><td>5,928</td><td>6,803</td></tr>
<tr><td>n'_{опт}</td><td>131,3</td><td>99,0</td><td>80,6</td><td>68,3</td><td>59,4</td><td>52,7</td><td>47,4</td></tr>
<tr><td>n* = n_з</td><td>42</td><td>42</td><td>42</td><td>42</td><td>42</td><td>42</td><td>42</td></tr>
<tr><td>F(n_з), с</td><td>2700</td><td>2807</td><td>2960</td><td>3148</td><td>3360</td><td>3592</td><td>3840</td></tr>
</table>

В расчетах принято: шпулярник Ш-616-2; $b = 7$; $n_{доп} = 616/(2\cdot 7) = 44$; $T_н = 25$ текс; $G = 205$ кг; $G_б = 1,4$ кг; $\varepsilon = 0,3\%$; $t = 30с$; $C = 0,8с$. Коэффициенты функции (8) и границы (23) ее определения [2] будут: $\alpha_0^{(1)} = 1,036$; $\alpha^{(1)} = -2,249$; $\alpha_0^{(2)} = 0,934$; $\alpha^{(2)} = -2,918$; $\alpha_0^{(3)} = 1,050$;

$\alpha^{(3)}$ = -5,447; $V_н^{(1)}$ = 300; $V_в^{(1)}$ = 500 м/мин; $V_н^{(2)}$ = 300; $V_в^{(2)}$ = 600 м/мин; $V_н^{(3)}$ = 400; $V_в^{(3)}$ = =700 м/мин. Верхние индексы означают номера вариантов оптимизации.

Из табл.1 видно, что в первом и втором вариантах оптимальные значения скорости $V'_{опт}$ (44) и $V'_{опт}$ (42) не выходят за пределы (23), поэтому принято $V^*(44) = V'_{опт}$ (44) и $V^*(42) = V'_{опт}$ (42). В третьем варианте оптимальная скорость $V^*(42)$ получена по минимуму функции $F(n_з)$, так как значения $V'_{опт}$ (42) в этом случае выходят за границы (23).

Применение условной оптимизации к рассмотренному выше примеру безусловной оптимизации показывает, что во всем исследуемом диапазоне изменения скорости снования $n'_{опт}$ превышает $n_{доп}$ = 44. Принимая согласно (24) $n^* = n_з = 42$, по формуле (17) $V'_{опт}$ (42) = 6,82 м/с или 409,2 м/мин. Поскольку это значение скорости укладывается в заданный интервал ее изменения, $V^*(42)$ = 409,2 м/мин. По формуле (10) находим F(n*,V*)= 4294,06 с, а согласно (1) $П'_{max}$ = 5,24 вала в смену, или 5,24·190 / 8 = 124,5 кг/ч.

ВЫВОДЫ

1. Для получения максимальной производительности партионной сновальной машины предложены методики безусловной и условной оптимизации процесса одновременно по величине ставки бобин и по скорости снования.

2. Предложенные методики включают в себя как частные случаи известные формулы оптимизации процесса по величине ставки бобин (при V = const), или по скорости снования (при n = const).

ЛИТЕРАТУРА

1. *Гордеев В.А.* // Текстильная промышленность. – 1951, №11. С.29...31.

2. *Врублевский В.А. и др.* // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 1983, №6. С.78...81.

3. *Гусев Б.Н. и др.* // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 1986, №6. С.39...42.

4. *Маховер В.Л.* // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 1993, №5. С. 30...34.

5. *Маховер В.Л., Микаелян В.Б.*// Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 1999, №4. С.39...43.

6. *Маховер В.Л. и др.* // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2002, №1. С.31...35.

7. *Окунев Л.Я.* Высшая алгебра. – М.-Л.: Гостехтеоретиздат. 1940.

Рекомендована кафедрой ткачества. Поступила 07.12.01.