

**ПРОГНОЗИРОВАНИЕ РАЗРЫВНОЙ НАГРУЗКИ  
ТЕРМОСКРЕПЛЕННЫХ НЕТКАНЫХ МАТЕРИАЛОВ**

*Ю.С. ШУСТОВ, А.В. КУРДЕНКОВА, А.Х. ГАЛИМУЛИН, Ю.Я. ТЮМЕНЕВ*

**(Московский государственный текстильный университет им. А.Н. Косыгина,  
Российский государственный университет туризма и сервиса)**

В процессе эксплуатации нетканые материалы подвергаются различным механическим воздействиям, которые приводят к их разрушению, поэтому наиболее важным показателем качества, характеризующим надежность полотен при их использовании, является разрывная нагрузка.

На разрывную нагрузку  $P_p$  будут оказывать влияние следующие факторы [1]:

$$P_p = \eta = f(v, T_B, \rho_B, M'), \quad (1)$$

где  $v$  – скорость движения зажимов разрывной машины, мм/мин;  $v = 100$  мм/мин;  $T_B$  – линейная плотность волокна, текс;  $T_B = 0,24$  текс;  $\rho_B$  – плотность волокна, г/см<sup>3</sup>;

$\rho_B = 0,92$  г/см<sup>3</sup>;  $M'$  – поверхностная плотность нетканого полотна, г/м<sup>2</sup>.

Для прогнозирования разрывной нагрузки нетканых материалов воспользуемся методами теории подобия и анализа размерностей [2].

В качестве основных параметров, определяющих размерность разрывной нагрузки, примем  $v, T_B, \rho_B$ . В системе физических величин они имеют следующие размерности:

$$[v] = [M]^{\mu_v} [L]^{\lambda_v} [T]^{\tau_v} = [M]^0 [L]^1 [T]^{-1}, \quad (2)$$

где  $M, L, T$  – основные единицы измерения, соответственно масса, длина, время;  $\mu_v, \lambda_v, \tau_v$  – показатели степени.

$$[T_B] = [M]^{\mu_{T_B}} [L]^{\lambda_{T_B}} [T]^{\tau_{T_B}} = [M]^1 [L]^{-1} [T]^0; \quad (3)$$

$$[\rho_B] = [M]^{\mu_{\rho_B}} \cdot [L]^{\lambda_{\rho_B}} \cdot [T]^{\tau_{\rho_B}} = [M]^1 \cdot [L]^{-3} \cdot [T]^0. \quad (4)$$

Определитель, составленный из коэффициентов уравнения, имеет следующий вид:

$$\Delta = \begin{vmatrix} \mu_{\Delta P} & \lambda_{\Delta P} & \tau_{\Delta P} \\ \mu_{T_B} & \lambda_{T_B} & \tau_{T_B} \\ \mu_{\rho_B} & \lambda_{\rho_B} & \tau_{\rho_B} \end{vmatrix} \neq 0. \quad (5)$$

По второй теореме подобия система уравнений (2)...(4) имеет единственное решение, если составленный определитель не равен нулю. Подставляя соответствующие значения  $\mu_i, \lambda_i, \tau_i$  величин  $v, T_B, \rho_B$ , находим определитель:

$$\Delta = \begin{vmatrix} 0 & -1 & -1 \\ 1 & -1 & 0 \\ 1 & -3 & 0 \end{vmatrix} = 2. \quad (6)$$

Так как  $\Delta \neq 0$ , следовательно,  $v, T_B, \rho_B$  можно использовать в качестве основных размерностей.

Применяя метод нулевых размерностей, представим уравнение (1) в виде комплекса безразмерных показателей:

$$\frac{P_p}{v^{\alpha_{P_p}} T_B^{\beta_{P_p}} \rho_B^{\gamma_{P_p}}} = f \left( \frac{M'}{v^{\alpha_{M'}} T_B^{\beta_{M'}} \rho_B^{\gamma_{M'}}} \right). \quad (7)$$

Значения  $\alpha, \beta, \gamma$  определяются из условия, что входящие в уравнение (7) комп-

лексы – безразмерные величины.

Рассмотрим первый критерий подобия:

$$\begin{aligned} \frac{P_p}{v^{\alpha_{P_p}} T_B^{\beta_{P_p}} \rho_B^{\gamma_{P_p}}} &= \frac{[M]^1}{[L]^{\alpha_{P_p}} [T]^{-\alpha_{P_p}} [M]^{\beta_{P_p}} [L]^{-\beta_{P_p}} [M]^{\gamma_{P_p}} [L]^{-3\gamma_{P_p}}} = \\ &= [M]^{1-\beta_{P_p}-\gamma_{P_p}} [L]^{-\alpha_{P_p}+\beta_{P_p}+3\gamma_{P_p}} [T]^{\alpha_{P_p}}. \end{aligned} \quad (8)$$

Таким образом,

$$[M] = 1 - \beta_{P_p} - \gamma_{P_p} = 0,$$

$$[L] = -\alpha_{P_p} + \beta_{P_p} + 3\gamma_{P_p} = 0,$$

$$[T] = \alpha_{P_p} = 0.$$

Решая систему уравнений, получим  $\alpha_{P_p} = 0, \beta_{P_p} = 3/2, \gamma_{P_p} = -1/2$ . Подставим полученные значения в уравнение (8) и найдем первый критерий:

$$\frac{P_p}{v^{\alpha_{P_p}} T_B^{\beta_{P_p}} \rho_B^{\gamma_{P_p}}} = \frac{P_p}{v^0 T_B^{3/2} \rho_B^{-1/2}} = \frac{P_p}{\sqrt{\frac{T_B^3}{\rho_B}}}. \quad (9)$$

Рассмотрим второй критерий подобия:

$$\begin{aligned} \frac{M'}{v^{\alpha_{M'}} T_B^{\beta_{M'}} \rho_B^{\gamma_{M'}}} &= \frac{[M]^1 [L]^{-2}}{[L]^{\alpha_{M'}} [T]^{-\alpha_{M'}} [M]^{\beta_{M'}} [L]^{-\beta_{M'}} [M]^{\gamma_{M'}} [L]^{-3\gamma_{M'}}} = \\ &= [M]^{1-\beta_{M'}-\gamma_{M'}} [L]^{-2-\alpha_{M'}+\beta_{M'}+3\gamma_{M'}} [T]^{2\alpha_{M'}}. \end{aligned} \quad (10)$$

Таким образом,

$$[M] = 1 - \beta_{M'} - \gamma_{M'} = 0,$$

$$[L] = -2 - \alpha_{M'} + \beta_{M'} + 3\gamma_{M'} = 0,$$

$$[T] = 2\alpha_{M'} = 0.$$

В результате решения системы уравнений получим  $\alpha_{M'} = 0$ ,  $\beta_{M'} = 1/2$ ,  $\gamma_{M'} = 1/2$ . Тогда второй критерий подобия примет вид:

$$\frac{M'}{v^{\alpha_{M'}} T_B^{\beta_{M'}} \rho_B^{\gamma_{M'}}} = \frac{M'}{v^0 T_B^{1/2} \rho_B^{1/2}} = \frac{M'}{\sqrt{T_B \rho_B}}. \quad (11)$$

$$(P_p)_{\text{расч}} = \frac{M' \sqrt{\frac{T_B^3}{\rho_B}}}{\sqrt{T_B \rho_B}} = M' T_B^{3/2} \rho_B^{-1/2} T_B^{-1/2} \rho_B^{-1/2} = \frac{M' T_B}{\rho_B}. \quad (13)$$

В качестве объектов исследования были выбраны термоскрепленные нетканые полотна. Образцы были выработаны из полипропиленовых волокон и отличались поверхностной плотностью.

Испытания проводились в соответствии с [1] на разрывной машине маятникового

В соответствии с теорией подобия и анализа размерностей зависимость разрывной нагрузки от параметров строения нетканых материалов примет вид:

$$\frac{P_p}{\sqrt{\frac{T_B^3}{\rho_B}}} = \frac{M'}{\sqrt{T_B \rho_B}}. \quad (12)$$

Таким образом, с учетом полученных безразмерных комплексов функциональную зависимость для расчета разрывной нагрузки можно записать так:

типа РТ-250 при расстоянии между зажимами 100 мм. Ширина образцов составляет 50 мм.

Результаты расчета разрывной нагрузки нетканых материалов для десяти повторностей приведены в табл. 1.

Т а б л и ц а 1

$M', \text{ г/м}^2$	$\frac{M' T_B}{\rho_B}$	$P_p, \text{ Н}$	$(P_p)_{\text{расч}}, \text{ Н}$	Отклонение от расчетного значения, %
43,0	0,0112	8,3	8,7	4,89
41,4	0,0108	7,8	8,3	5,29
36,9	0,0096	6,9	7,1	3,06
29,6	0,0077	5,0	4,8	4,86
77,7	0,0203	15,5	14,9	4,13
89,7	0,0234	16,8	16,4	2,75
112,3	0,0293	18,2	18,7	2,54
29,0	0,0076	4,7	4,5	3,23
29,2	0,0076	4,8	4,6	3,79
30,0	0,0078	5,2	4,9	5,89

В результате обработки экспериментальных данных получена следующая зависимость:

$$P_p = 10,468 \ln \left( \frac{M' T_B}{\rho_B} \right) - 16,645.$$

Формула справедлива в диапазоне:  $7,565 \leq \frac{M' T_B}{\rho_B} \leq 29,296$ . Отклонение расчетных значений от экспериментальных не превышает 5,89%.

## ВЫВОДЫ

На основе теории подобия и анализа размерностей получены формулы, позволяющие с установленной погрешностью прогнозировать разрывную нагрузку термоскрепленных нетканых материалов с учетом параметров их строения и условий испытания.

## ЛИТЕРАТУРА

1. ГОСТ 15902.3–79. Полотна нетканые. Методы определения прочности.
2. *Шустов Ю.С.* Методы подобия и размерности в текстильной промышленности. – М.: МГТУ им. А.Н. Косыгина, 2002.

Рекомендована кафедрой текстильного материаловедения МГТУ им. А.Н. Косыгина. Поступила 03.06.08.

---