

**ОЦЕНКА И ПРОГНОЗИРОВАНИЕ МЕХАНИЧЕСКИХ  
СВОЙСТВ ПНЕВОТЕКСТУРИРОВАННЫХ ХИМИЧЕСКИХ  
НИТЕЙ.**

*Коган А.Г., Кузнецов А.А.,  
Ольшанский В.И.*

*(ВГТУ)*

Одним из важнейших направлений повышения эффективности прядильного, ткацкого и трикотажного производств является производство нитей новых структур (комбинированных, пневмотекстурированных и т.д.). В настоящее время на кафедре ПНХВ ВГТУ разработан ряд способов получения комбинированных и пневмотекстурированных нитей новых способов формирования. В связи с этим возникает необходимость в проведении комплексного анализа и оценки их механических свойств. В качестве объекта исследования в данной работе выступают полиэфирные пневмотекстурированные нити (ПТН) параллельного способа формирования. Целью проводимых исследований являлось: на основе полуциклового испытания на растяжение оценить не только прочностные, но и деформационные свойства ПТН, а также провести анализ причин снижения разрывной нагрузки нити при пневмотекстурировании.

Оценка механических свойств пневмотекстурированных нитей базируется на математическом моделировании процесса полуциклового испытания на растяжение, для повышения информативности которого авторами данной работы была предложена универсальная математическая модель следующего вида [1]:

$$\sigma = \frac{\xi}{b_0 + b_1 \cdot \xi} + b_2 \cdot \xi^2, \quad (1)$$

где  $\sigma$  - напряжение, возникающее при растяжении нити [МПа],  $\xi$  - относительное удлинение [%],  $b_0$ ,  $b_1$ ,  $b_2$  - параметры модели, которые характеризуют упругие, пластические свойства текстильных материалов и эффект деформационного упрочнения при растяжении.

На основе анализа процесса деформирования и разрушения текстильных материалов параметры модели (1) определяются исходя из следующих соотношений:

$$b_0 = \frac{\xi_p}{\sigma_y}, \quad b_1 = \frac{1}{\sigma_n} - \frac{1}{\sigma_p}, \quad b_2 = \frac{\sigma_p - \sigma_n}{\xi_p^2} \quad (2)$$

где  $\sigma_y$  - условный предел упругости образца нити [МПа];  $\sigma_n$  - условный предел пластичности [МПа];  $\sigma_p - \sigma_n = \sigma_{упр}$  - условный предел упрочнения нити при растяжении [МПа];  $\xi_p$  - относительное разрывное удлинение [%]

Вследствие того, что известные методы определения параметров модели типа (1) требуют продолжительных экспериментальных исследований, а практическое их применение ограничено значением параметров, которые лежат вне области действительных чисел, разработана комплексная методика оценки параметров универсальной математической модели по результатам кратковременных испытаний. Она состоит из целого ряда формализованных шагов. Модель (1) преобразуется к линейному виду:

$$Z_1 = b_0 + b_1 \cdot \xi_1, \quad (3)$$

где  $Z_1 = \xi_1 / (\sigma_1 - b_2 \cdot \xi_1^2)$ .

На начальном этапе ( $j=0$ ) предполагается, что параметр  $b_{2(0)}=0$ . Следовательно, на основе соотношения (3), появляется возможность определения величины  $Z_j$  на начальном этапе  $Z_{(0)}$ . Далее на основе метода наименьших квадратов определяются значения параметров  $b_{0(j)}$  и  $b_{1(j)}$ :

$$b_{0j} = \frac{C_j \cdot B - A \cdot D_j}{N \cdot B - A^2}, \quad b_{1j} = \frac{N \cdot D_j - A \cdot C_j}{N \cdot B - A^2}, \quad (4)$$

где величины  $A, B, C_j, D_j$  определяются на основе следующих соотношений:

$$A = \sum_{i=1}^N \xi_i; \quad B = \sum_{i=1}^N \xi_i^2; \quad C_j = \sum_{i=1}^N Z_{ij}; \quad D_j = \sum_{i=1}^N \xi_i \cdot Z_{ij}; \quad (5)$$

На каждом шаге оценки параметров определяется величина остаточной дисперсии  $S_{0(j)}^2$ :

$$S_{0(j)}^2 = \frac{1}{N} \cdot \sum_{i=1}^N (Z_{ij} - b_{0(j)} - b_{1(j)} \cdot \xi_i)^2. \quad (6)$$

Затем, создавая приращение значению  $b_{2(j+1)}$  по закону:  $b_{2(j+1)} = b_{2(j)} + \Delta$  ( $\Delta$  - задаваемый шаг приращения), происходит повторение операций (3)-(6). Цикл увеличения значений  $b_2$  продолжается до тех пор, пока остаточная дисперсия будет уменьшаться ( $S_{0(j+1)}^2 < S_{0(j)}^2$ ). По достижении минимума остаточной дисперсии  $S_{0(j)}^2$  ( $S_{0(j+1)}^2 > S_{0(j)}^2$ ) выполняется шаг назад, и поиск продолжается с шагом в  $k$  раз меньшим ( $\Delta = \Delta/k$ ). Критерием окончанием поиска является уменьшение шага до заранее достаточно малого заданного значения (например,  $\Delta < 10^{-4}$ ). Вышеизложенная методика оценки значений параметров модели (1), реализована в математической системе «Marie V».

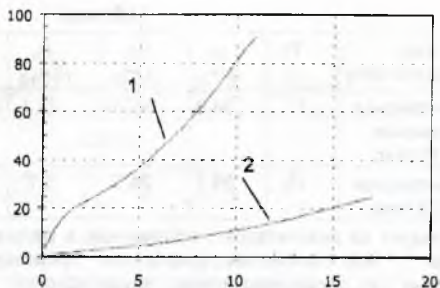
Экспериментальные исследования механических свойств ПТН производились на разрывной машине «Frank» при стандартных условиях проведения испытания. В результате был сформирован массив координат кривой растяжения в координатах «нагрузка  $P$  - абсолютное удлинение  $l$ ». На основе постоянства объема испытуемого образца нити среднее значение напряжения  $\sigma$ , возникающее при растяжении, определялось на основе следующего соотношения:

$$\sigma_i = \frac{P_i \cdot (1 + \xi_i)}{\pi \cdot R_0^2}, \quad (7)$$

где  $P_i$  - текущее значение растягивающей силы;  $R_0$  - начальное значение среднего радиуса испытуемой нити.

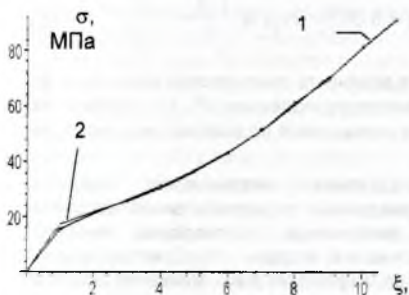
На рис.1. представлены экспериментальные усредненные кривые растяжения полиэфирной комплексной нити 111 текс (кривая 1) и полиэфирной ПТН линейной плотности 125 текс (кривая 2).

Следует отметить, что в некоторых случаях, особенно при оценке механических свойств химических нитей и волокон, кривая построенная на основе применения модели (1) не обладает высокой сходимостью с результатами экспериментальных исследований при обработке всего массива координат кривой растяжения (максимальное отклонение составляет порядка 30%). Это объясняется тем, что при деформировании полимерных материалов существует некоторое значение напряжения, при котором происходит переход общей деформации в местную (эффект образования "шейки") [2]. Следовательно, в качестве дополнительных параметров, характеризующих механические свойства ПТН, могут выступать напряжение и относительное удлинение, при котором происходит данный переход. Данные значения параметров могут определяться либо графически (на основе поиска второй точки перегиба на кривой растяжения).

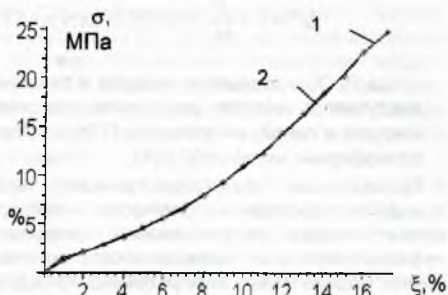


**Рис.1.** Экспериментальные кривые растяжения (1 – полиэфирная комплексная нить 111 текс.; 2 – полиэфирная пневмотекстурированная нить 125 текс)

На рис.2, 3 сопоставлены результаты, полученные на основе применения вышеизложенной методики и экспериментальные данные. Величина остаточной дисперсии и максимальное отклонение составляет соответственно  $5.52 \cdot 10^{-4}$ , 1.54 % и



**Рис.2.** Кривые растяжения полиэфирной комплексной нити 111 текс. (1 – экспериментальная кривая; 2 – кривая, согласно модели (1))



**Рис.3.** Кривые растяжения полиэфирной ПТН 125 текс. (1 – экспериментальная кривая; 2 – кривая, согласно модели (1))

$1.43 \cdot 10^{-3}$ , 2.05 %, что указывает на высокую сходимость результатов моделирования.

Параметры модели (1), характеризующие механические свойства полиэфирной комплексной нити линейной плотности 111 текс и полиэфирной ПТН 125 текс, представлены в таблице 1.

Таблица 1

Вид исследуемой нити	$P_p$ Н	$\sigma_p$ МПа	$\sigma_y$ МПа	$\sigma_n$ МПа	$\sigma_{упр}$ МПа	$\sigma_{ш.}$ МПа	$\xi_{ш.}$ %	$\xi_p$ %
Полизфирная комплексная нить 111 текс.	71,1	94,8	547,9	22,1	48,6	68,9	12,6	9
Полизфирная ПТН 125 текс.	43,1	24,7	24,7	3,7	19	22,7	16	17,2

Как следует из результатов, полученных в результате моделирования процесса испытания, при пневмотекстировании происходит значительное снижение прочностных и деформационных характеристик. Анализ реализации кривых растяжения ПТН позволяет выдвинуть гипотезу о том, что снижение прочностных характеристик объясняется неоднородностью комплексных элементарных нитей и как следствие неодновременностью разрушения. На этом основании разработана обобщенная модель, позволяющей оценить падение прочности при пневмотекстировании. Используя в качестве компонентов полиэфирные комплексные нити различной линейной плотности (9 текс, 22 текс, 111 текс), были наработаны различные варианты по линейной плотности ПТН. Далее на основе экспериментальных исследований оценивалась разрывная нагрузка не только комплексных нитей, но и ПТН. Математическая модель зависимости относительного уменьшения разрывной нагрузки от относительного увеличения линейной плотности имеет следующий вид:

$$\Delta P = 1 - \frac{P}{P_0} = 0.0031 \cdot \exp(\alpha \cdot \Delta T) = 0.0031 \cdot \exp\left(\alpha \cdot \left[\frac{T}{T_0} - 1\right]\right), \quad (8)$$

где  $P_0$ ,  $T_0$  – разрывная нагрузка и линейная плотность комплексной нити, которая выступает в качестве компонента при пневмотекстировании;  $P$ ,  $T$  – разрывная нагрузка и линейная плотность ПТН;  $\alpha$  – темп уменьшения разрывной нагрузки (для полиэфирных нитей  $\alpha=37.899$ ).

Проведённые экспериментальные исследования механических свойств пневмотекстированных химических нитей, проведенные по разработанной методике математического моделирования процесса растяжения, подтвердили высокую информативность и универсальность математической модели (1). Следовательно, данная модель может быть рекомендована для сертификации и комплексного анализа механических свойств ПТН параллельного способа формирования.

#### Литература.

1. Е.И.Махаринский, В.И.Ольшанский, А.А.Кузнецов Исследование механических свойств текстильных материалов на основе математического моделирования процесса растяжения / Тезисы докладов международной научно-технической конференции «Современные наукоемкие технологии и перспективные материалы текстильной и легкой промышленности» (ПРОГРЕСС-2000). Иваново, ИГТА - 2000.
2. Нарисава И. Прочность полимерных материалов. М.: Химия: 1987. 400 с.