

УДК 677.017

ИССЛЕДОВАНИЕ УСТАЛОСТНЫХ СВОЙСТВ ТЕКСТИЛЬНЫХ НИТЕЙ МЕТОДАМИ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ИСПЫТАНИЯ НА МНОГОКРАТНОЕ РАСТЯЖЕНИЕ

Кузнецов А. А., Иваненков Д. А.

Витебский государственный технологический университет, Витебск, Беларусь
iwanenkow@tut.by

В работе на основе метода имитационного моделирования многоциклового испытания на растяжение проведены комплексные исследования изменения остаточного циклического удлинения текстильных материалов в процессе нагружения. На основе проведенных исследований показана возможность прогнозирования выносливости текстильных нитей по результатам кратковременных испытаний.

Текстильные материалы в процессах переработки и эксплуатации постоянно подвергаются действию небольших по величине многократных переменных напряжений, в результате чего свойства материала ухудшаются до тех пор, пока не произойдет его разрушение. Данный процесс разрушения текстильного материала получил название усталостного. Знание закономерностей разрушения нитей от усталости позволяет уточнить условия их переработки, разработать научные основы получения текстильного материала с заданными свойствами и может быть учтено при выборе конструкции изделий. Вследствие этого, изучение усталостных характеристик, полученных в условиях многократного растяжения текстильных материалов, представляет интерес для большого числа исследователей. Однако проведение усталостных испытаний сопровождается значительными временными затратами. Для их сокращения авторами предлагается использовать параметрический метод оценки качества текстильного материала. Сущность параметрического подхода при оценке усталостных свойств текстильных нитей заключается в том, что вместо данных о разрушении текстильной нити при многоциклового испытании проводятся кратковременные эксперименты с наблюдением за изменением контролируемого параметра (показателя). И по результатам кратковременных экспериментов осуществляется прогноз минимального числа циклов, которое может выдержать нить, не разрушаясь с заданной долей вероятности.

Известно [1], что одним из показателей, значение которого изменяется в процессе проведения усталостных испытаний текстильных нитей является относительная остаточная циклическая деформация $\epsilon_{o.u}$ (в дальнейшем остаточная деформация) – величина деформации, накопившейся за некоторое определенное число циклов нагружения и не исчезающей в процессе непрерывного приложения этих циклов. На основании анализа результатов предварительных исследований для математического описания зависимости относительного остаточного удлинения от количества циклов нагружения предлагается математическая модель следующего вида:

$$\epsilon_{o.u}(n) = \frac{n}{a_0 + a_1 \cdot n} + a_2, \quad (1)$$

где $\epsilon_{o.u}$ – относительное остаточное удлинение нити, возникающее после n циклов нагружения, %; n – число циклов нагружения нити, цикл; a_0, a_1, a_2 – параметры модели.

Анализ соотношения (1) указывает на то, что параметр a_2 имеет размерность, идентичную размерности относительного остаточного удлинения (%), и характеризует относительное удлинение нити ε_0 , вызываемое действием статической нагрузки P :

$$a_2 = \varepsilon_{0.н} (n \rightarrow 0) = \varepsilon_0 \quad (2)$$

Для определения физического смысла параметра a_1 преобразуем модель (1):

$$\varepsilon_{0.н} (n) = \frac{1}{\frac{a_0}{n} + a_1} + a_2 \quad (3)$$

Очевидно, что при значительном количестве циклов нагружения нити значение остаточной циклической деформации достигает своего предельного значения (разрывного удлинения ε_p) (рис.1):

$$\varepsilon_p = \varepsilon_{0.н} (n \rightarrow \infty) = \frac{1}{a_1} + a_2 = \frac{1}{a_1} + \varepsilon_0, \quad (4)$$

$$\frac{1}{a_1} = \varepsilon_p - \varepsilon_0.$$

Таким образом, параметр a_1 модели (1) имеет размерность (%)⁻¹ и характеризует предельно возможное изменение остаточного удлинения $\varepsilon_{0.н}$ нити при проведении усталостных испытаний на многократное растяжение:

$$a_1 = \frac{1}{\varepsilon_p - \varepsilon_0} \quad (5)$$

Для определения физического смысла параметра a_0 продифференцируем соотношение (1) по n и устремим n к нулю:

$$\frac{d\varepsilon_{0.н}}{dn} = \frac{1}{(a_0 + a_1 \cdot n)} - \frac{n \cdot a_0}{(a_0 + a_1 \cdot n)^2} \quad (6)$$

$$\frac{d\varepsilon_{0.н}}{dn} (n \rightarrow 0) = \frac{1}{a_0}$$

С другой стороны, из геометрических соображений (рис.1), следует

$$\frac{d\varepsilon_{0.н}}{dn} (n \rightarrow 0) = \operatorname{tg} \alpha, \text{ следовательно,} \quad (7)$$

$$\frac{1}{a_0} = \operatorname{tg} \alpha,$$

где α – угол наклона касательной, проведенной из точки $[\varepsilon_0, 0]$ к кривой $\varepsilon_{0.н}(n)$ к оси абсцисс.

Следовательно, параметр a_0 модели (1) является безразмерной величиной и является темповым показателем, определяющим темп нарастания относительного удлинения нити на начальном этапе циклического нагружения в процессе усталостного испытания.

Таким образом, на основании проведенных исследований разработана математическая модель, позволяющая прогнозировать значение остаточной деформации при циклическом нагружении. Отличительной особенностью данной модели является тот факт, что ее параметры имеют строго определенный физический смысл, а не являются абстрактными коэффициентами влияния.

Для оценки выносливости текстильных нитей по результатам кратковременных испытаний авторами предлагается использовать метод имитационного моделирования многоциклового испытания на растяжение [2].

При разработке имитационной модели усталостного разрушения текстильных нитей была выдвинута гипотеза о том, что разрушение нити происходит при достижении остаточной циклической деформации некоторого критического значения, в предположении относительного разрывного удлинения. При этом каждый i -й образец испытываемой нити имеет различные параметры a_{0i} , a_{1i} , a_{2i} модели (1), которые имеют определенный и сформулированный выше физический смысл и характеризуют механические свойства нити.

В соответствии с моделью (1) для i -й испытываемой нити можно записать:

$$\epsilon_{o.u.}(n_j) = \frac{n_j}{a_{0i} + a_{1i}n_j} + a_{2i} \quad (8)$$

$$a_{0i} = \frac{n_{li}}{\epsilon_{li}}; a_{1i} = \frac{1}{\epsilon_{pi} - \epsilon_{0i}}; a_{2i} = \epsilon_{0i} \quad (9)$$

где $\epsilon_{o.u.}(n_j)$ – текущее значение остаточного циклического удлинения нити после n_j циклов нагружения, %; ϵ_{pi} – относительное разрывное удлинение i -й испытываемой нити, %; ϵ_{0i} – относительное удлинение, вызванное действием статической нагрузки i -й испытываемой нити, %; ϵ_{li} – относительное удлинение i -й испытываемой нити, измеренное после n_{li} циклов нагружения, %.

Переменными случайными величинами для каждого i -й нити будут являться значения ϵ_{0i} , ϵ_{li} и ϵ_{pi} .

На начальном этапе имитационного моделирования генератор случайных чисел, в соответствии с задаваемым, экспериментально определяемым законом распределения, генерирует k (по числу испытываемых нитей) случайных значений ϵ_{0i} , ϵ_{li} и ϵ_{pi} . Затем определяются параметры математической модели (1) a_{0i} , a_{1i} , и a_{2i} .

Имитационное моделирование эксперимента состоит в том, что пульсатор на каждом j -м этапе последовательно сообщает нити переменное напряжение, что вызывает возникновение остаточной циклической деформации $\epsilon_{o.u.}$. Тогда число циклов нагруже-

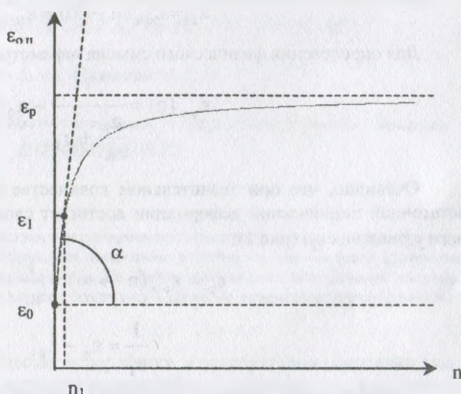


Рис.1. Схематическое представление зависимости остаточной циклической деформации $\epsilon_{o.u.}$ от количества циклов нагружения n при испытании на многократное растяжение.

ния p_j будет соответствовать j -му этапу моделирования. На каждом j -м шаге для каждой i -й нити вычисляется остаточная циклическая деформация $\epsilon_{o.ц.}(p_j)$ (1).

При выполнении условия $\epsilon_{o.ц.}(p_j) \geq \epsilon_{p_i}$ соответствующая i -я нить считается разорванной, и выносливость данной нити соответствует значению p_j ($p_{ri} = p_j$).

Результаты имитационного моделирования представляются в виде массива значений выносливостей, анализ которого позволяет определить не только сводные статистические характеристики, но и также представить результаты моделирования в виде гистограммы распределения выносливости.

Разработанная имитационная модель процесса усталостного разрушения текстильных нитей при испытании на многократное растяжение позволяет на основе кратковременного эксперимента по определению параметров ϵ_0 , ϵ_1 и ϵ_p произвести оценку их усталостных свойств с учётом вариации данных показателей. А также произвести исследование влияния законов распределения и неравномерности механических свойств, определяемых параметрами ϵ_0 , ϵ_1 и ϵ_p , на показатели усталостных свойств текстильных нитей.

Произведем пример функционирования имитационной модели для оценки выносливости хлопчатобумажной пряжи 50 текс. Отбор проб осуществлялся согласно ГОСТ 6611.0-73. Груз предварительного натяжения устанавливался согласно ГОСТ 6611.0-73 в зависимости от линейной плотности исследуемых нитей. Значение статической нагрузки принималось равной 25% от разрывной нагрузки, определяемой по ГОСТ 6611.2-73.

В результате проведения предварительного эксперимента произведена численная оценка значений:

- относительного разрывного удлинения $\epsilon_p = 7,21\%$, $C_{\epsilon_p} = 6,38\%$;
- относительного удлинения нити, вызванного действием статической нагрузки $\epsilon_0 = 2,48\%$, $C_{\epsilon_0} = 8,12\%$;
- относительного удлинения нити после 50 циклов нагружения $\epsilon_1 = 4,84\%$, $C_{\epsilon_1} = 6,43\%$;

По результатам критериальной оценки законов распределения значений параметров ϵ_0 , ϵ_1 и ϵ_p имитационной модели закон распределения данных показателей был выбран нормальным с 95% доверительной вероятностью. Данный факт нормального распределения значений вышеуказанных параметров хорошо согласуется с результатами экспериментальных исследований по оценке остаточного циклического удлинения текстильных нитей различного сырьевого состава [3]. Результаты проведенного имитационного моделирования процесса испытания на многократное растяжение хлопчатобумажной пряжи 50 текс представлены на рис. 2. Для сравнительного анализа на рис.3 представлена гистограмма распределений и функция плотности вероятности значений выносливости p_r для хлопчатобумажной пряжи 50 текс, полученные в ходе проведения эксперимента.

По результатам исследований были получены следующие численные значения показателей усталостных свойств хлопчатобумажной пряжи 50 текс:

- $\bar{p}_r = 1551$ цикл, $\sigma_n = 749$ цикл, $C_n = 48,3\%$ – в результате экспериментальной оценки;
- $\bar{p}_r = 1418$ цикл, $\sigma_n = 764$ цикл, $C_n = 53,9\%$ – в результате проведенного имитационного моделирования процесса усталостного разрушения.

Полученные результаты свидетельствуют о наличии возможности оценки выносливости хлопчатобумажной пряжи по результатам кратковременных испытаний.

Таким образом, в результате проведенного комплекса исследований основанных на имитационном моделировании процессов усталостного разрушения текстильных нитей при испытании на многократное растяжение показана возможность прогнозирования показателей выносливости текстильных нитей по результатам кратковременных результатов.

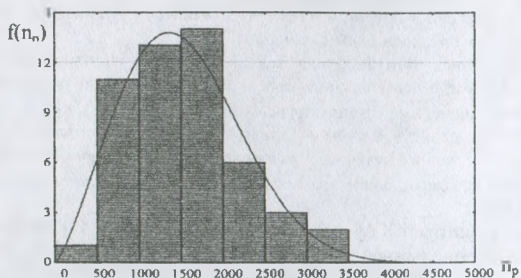


Рис.2. Гистограмма распределения и функция плотности вероятности значений выносливости p_r для хлопчатобумажной пряжи 50 текс (экспериментальная)

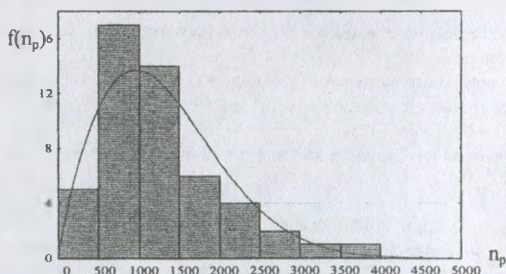


Рис. 3. Гистограмма распределения и функция плотности вероятности значений выносливости p_r для хлопчатобумажной пряжи 50 текс, полученная в результате имитационного моделирования процесса испытания

Список литературы

1. Кукин, Г.К. Текстильное материаловедение. Ч.2./ Г.К. Кукин, А.Н. Соловьев – М.: Легкая индустрия, 1964. – 378 с.
2. Кузнецов А.А. Оценка и прогнозирование механических свойств текстильных материалов: Моногр./ А.А.Кузнецов, В.И.Ольшанский – Витебск: УО «ВГТУ», 2004. – 226 с.
3. Кириухин, С.М. Контроль и управление качеством текстильных материалов. / А.Н. Соловьев, С.М. Кириухин – М.: Легкая индустрия, 1977.-311 с.