EFFECT OF FLUFFY NONWOVEN MATERIALS ON SURFACE HEAT-TRANSFER COEFFICIENT IN NATURAL CONVECTION

T.S. Sokolovskaya

(Moscow State Textile University)

The influence of fluffiness of nonwoven material surface on surface heat transfer shows up within a small range of difference of temperatures of surface and environment (about 20°), in which the cloth heat-shielding properties are used. At a temperature difference of over 30°, the fluffiness influence on the heat transfer coefficient may not be taken into consideration. Within this range of temperatures, it is possible to determine the thermal constants of material by the cooling curve.

УДК 677.017

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДА СТАТИСТИЧЕСКОЙ ИМИТАЦИИ ИСПЫТАНИЯ ПРИ ИССЛЕДОВАНИИ ВЛИЯНИЯ МАСШТАБНОГО ФАКТОРА НА ПРОЧНОСТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ТЕКСТИЛЬНЫХ НИТЕЙ

А.А. Кузнецов

(Московский государственный текстильный университет)

Стабильность протекания технологических процессов получения и переработки нитей зависит не только от среднего уровня прочности нитей, но и от гетерогенности данного свойства. Прочность нитей регламентируют соответствующие стандарты, где прочностные характеристики определяются при некоторой фиксированной зажимной длине. Однако с изменением зажимной длины изменяются и прочностные показатели. Данная зависимость получила название масштабного эффекта прочностных характеристик [1, 2].

Настоящая статья посвящена разработке научно обоснованных моделей прогноза зависимости разрывной нагрузки текстильных нитей (волокон) от зажимной длины образца по результатам кратковременных испытаний. Научная новизна исследования состоит в использовании метода имитационного моделирования испытаний, применение которого, с точки зрения автора, дает возможность представить изучаемый процесс (явление) в целом, найти общие закономерности, а также сделать прогнозы и выводы относительно его физической сущности.

Построение имитационной модели осуществлялось на основе гипотезы «слабого звена» (weak-link). Предполагалось, что каждый j-й образец нити можно представить как некоторую цепь, состоящую из последовательно соединенных участков разной длины L_{ij} и прочности P_{ij}, где j изменяется от 1 до m (m – число образцов в испытуемой партии), i – от 1 до n (n – число структурных элементов вдоль нити). Изменение прочности по длине текстильной нити при построении имитационной модели схематически представлено на рис.1.

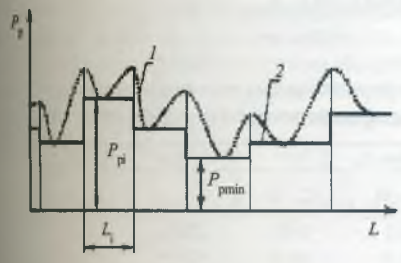

Рис. 1. Схематическое представление изменения прочности по длине текстильной нити.

С помощью программы, реализованной в математической системе «Maple V», сначала осуществлялось моделирование эксперимента по испытанию на разрыв партии из m образцов, состоящих из n структурных элементов с заданными значениями $\overline{P}_p(1)$ и $C_p(1)$, где $\overline{P}_p(1)$, $C_p(1)$ – среднее значение разрывной нагрузки и коэффициент вариации по разрывной нагрузке для образцов, состоящих из одного участка, прочность которого по длине постоянна. В результате имитационного моделирования установлено, что распределение разрывной нагрузки $\overline{P}_p(n)$ не совпадает с задаваемым законом распределения $\overline{P}_p(1)$, где $\overline{P}_p(n)$, $C_p(n)$ – среднее значение разрывной нагрузки и коэффициент вариации для образцов, состоящих из n участков. Отмечается появление правой асимметрии и сдвига средней разрывной нагрузки в сторону меньших значений. Гистограмма распределения $P_p(n)$ и функция плотности вероятностей значений $P_p(n)$ для образцов с $\overline{n} = 15$, $m = 100$ представлены на рис.2.

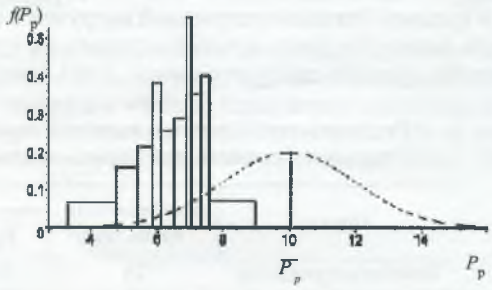

Рис. 2. Гистограмма распределения значений $P_p(n)$ и плотность вероятности значений $P_p(1)$ для образцов с $\overline{n} = 15$, $m = 100$.

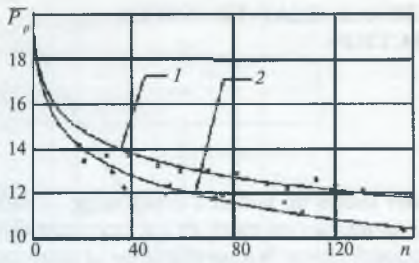

Рис. 3. Зависимость среднего значения разрывной нагрузки $\overline{P}_p$ от числа элементов *n* в образце нити для различных законов распределения разрывной нагрузки:
1 – нормальное распределение; *2* – распределение Вейбулла. $\overline{P}_p(1) = 20$, $C_p = 15\%$, $m = 50$.

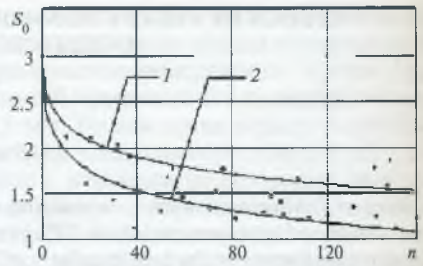

Рис. 4. Зависимость среднеквадратического отклонения по разрывной нагрузке S_0 от числа элементов *n* в образце нити для различных законов распределения разрывной нагрузки:
1 – нормальное распределение; *2* – распределение Вейбулла. $\overline{P}_p(1) = 20$, $C_p = 15\%$, $m = 50$.

Для выявления влияния зажимной длины L_0 нити на среднее значение разрывной нагрузки $\overline{P}_p$ проводилось моделирование таких же экспериментов для нитей (волокон) с переменной зажимной длиной L_0, которая считалась пропорциональной числу *n* участков цепи [2, 3]. Исходными данными при имитационном моделировании являлись вид и параметры закона распределения разрывной нагрузки для образцов, состоящих из одного участка, прочность которого по длине постоянна $\overline{P}_p(1), C_p(1)$; вид и параметры закона распределения числа участков цепи $\overline{n}$ и C_n; число испытываемых образцов *m*.

На рис.3 и 4 представлены зависимости среднего значения разрывной нагрузки $\overline{P}_p(n)$ (рис.2) и среднеквадратического отклонения по разрывной нагрузке $S_0(n)$ (рис.3) от числа элементов *n* в исследуемом образце нити для различных законов распределения разрывной нагрузки [$\overline{P}_p(1) = 20$, $C_p = 15\%$, $m = 50$].

Анализ данных зависимостей позволяет отметить, что увеличение числа структурных элементов *n* приводит к закономерному снижению среднего значения $\overline{P}_p$ и ее S_0. Это объясняется тем, что при увеличении *n* возрастает вероятность появления участка нити с наименьшей по абсолютной величине разрывной нагрузкой.

Так как зажимная длина L_0 пропорциональна *n*, для математического описания результатов моделирования можно предложить математическую модель следующего вида:

$$\overline{P}_p(L_0) = \left(\overline{P}_p(0) - \overline{P}_{р.сл}\right)\cdot \exp\left(-\frac{L_0}{K_L}\right) + \overline{P}_{р.сл}, \qquad (1)$$

где $\overline{P}_p(L_0)$ – среднее значение разрывной нагрузки как функции зажимной длины L_0; $\overline{P}_{р.сл}$ – средняя разрывная нагрузка наиболее слабых звеньев образца нити; $\overline{P}_p(0)$ – среднее значение разрывной нагрузки в партии образцов, зажимная длина которой стремится к нулю; K_L – параметр модели, определяющий темп (скорость) уменьшения разрывной нагрузки $\overline{P}_p(L_0)$ при увеличении зажимной длины.

Параметр K_L имеет размерность длины и характеризует длину образца нити, при которой отношение максимального изменения прочности, вызванное масштабным эффектом, больше текущего изменения прочности в *e* раз:

$$\frac{\overline{P}_p(0) - \overline{P}_{р.сл}}{\overline{P}_p(K_L) - \overline{P}_{р.сл}} = \frac{\Delta\overline{P}_{р.max}}{\Delta\overline{P}_{р.тек}} = a.$$

Темп уменьшения среднего значения разрывной нагрузки $\overline{P}_p$ и ее S_0 возрастает при увеличении исходного коэффициента вариации прочности образцов нити $C_p(1)$, состоящих из одного участка. Однако численное значение коэффициента вариации по разрывной нагрузке $C_p(n)$ при увеличении числа участков *n* остается практически постоянным. Следовательно, отсутствует необходимость в определении математической модели, описывающей изменение S_0 в зависимости от числа структурных элементов в образце нити зажимной длиной L_0:

$$C_p(L_0) = C_p(0) = \left[\frac{S_0(0)}{\overline{P}_p(0)}\right]100 = \left[\frac{S_0(L_0)}{\overline{P}_p(L_0)}\right]100. \qquad (2)$$

Тогда

$$S_0(L_0) = \frac{S_0(0)}{\overline{P}_p(0)}\cdot\left[\left(\overline{P}_p(0) - \overline{P}_{р.сл}\right)\cdot\exp\left[-\frac{L_0}{K_L}\right] + \overline{P}_{р.сл}\right]$$

$$S_0(L_0) = (S_0(0) - S_{0.сл})\cdot\exp\left[-\frac{L_0}{K_L}\right] + S_{0.сл}, \qquad (3)$$

Результаты экспериментальной оценки разрывной нагрузки текстильных нитей различного сырьевого состава при исследовании масштабного эффекта прочностных характеристик

Пряжа	Линейная плотность, текс	При L_0 = 0.1 м		При L_0 = 0.3 м		При L_0 = 0.5 м	
		$\overline{P}_p$, сН	C_p, %	$\overline{P}_p$, сН	C_p, %	$\overline{P}_p$, сН	C_p, %
Хлопчатобумажная	25	296.5	6.8	260.1	6.9	258.4	6.4
Льняная	50	616.4	12.8	558.5	10.9	508.5	11.0
Шерстяная	220	1107.0	9.7	1039.0	9.1	978.0	9.3
Нитроновая	31×2	748.7	7.1	688.5	7.7	674.5	8.1

где $S_{0сл}$ – среднеквадратическое отклонение по разрывной нагрузке наиболее слабых звеньев испытуемых образцов нитей; $S_0(0)$ – среднеквадратическое отклонение по разрывной нагрузке в партии образцов, зажимная длина которых стремится к нулю.

Асимметрия закона распределения, отражающая смещение моды относительно среднего значения, существенно влияет на закономерность уменьшения среднего значения разрывной нагрузки $\overline{P}_р$ и ее S_0, которое наблюдается при увеличении числа элементов n (зажимной длины образцов). Смещение моды закона распределения в сторону больших значений разрывной нагрузки (закон распределения Вейбулла) приводит к ослаблению темпа уменьшения среднего значения разрывной нагрузки и S_0 по сравнению с симметричным (нормальным) распределением.

С целью экспериментальной проверки предварительных выводов, сформулированных выше, была оценена разрывная нагрузка текстильных нитей различного сырьевого состава при различной зажимной длине. Анализ результатов оценки (таблица) показывает закономерное снижение разрывной нагрузки с увеличением зажимной длины, при этом коэффициент вариации по разрывной нагрузке остается практически неизменным. Это свидетельствует о полном соответствии экспериментальных данных основным положениям предварительных выводов, основанных на анализе результатов имитационного моделирования.

Дальнейшие аналитические и экспериментальные исследования [3, 4] неравномерности прочностных характеристик текстильных нитей по длине позволили предложить использовать в качестве критерия косвенной оценки дефектности, вызванной неравномерностью прочности по длине образца нити, относительный показатель неравномерности прочности ($\psi_д$, %):

$$\psi_д = \frac{\overline{P}_р(0) - \overline{P}_{р.сл}}{\overline{P}_{р.сл}} \cdot 100 = \frac{\Delta\overline{P}_{р.max}}{P_{р.ст}} \cdot 100, \qquad (4)$$

где $\Delta\overline{P}_р$ – максимально возможное изменение среднего значения разрывной нагрузки нити, вызванное масштабным фактором; $\overline{P}_{р.ст}$ – среднее значение разрывной нагрузки нити, определенное в стандартных условиях.

В результате исследований показана возможность использования метода имитационного моделирования полуциклового испытания на растяжение для исследования влияния масштабного эффекта прочностных характеристик текстильных нитей различного сырьевого состава.

– Составлен алгоритм статистической имитационной модели, реализующий масштабный эффект прочностных характеристик текстильных нитей, и математическая модель влияния зажимной длины на разрывную нагрузку образцов.

– По результатам полуциклового испытания на растяжение разработана методика оценки дополнительных показателей (средней разрывной нагрузки наиболее слабых звеньев испытуемого образца нити, средней разрывной нагрузки образца, зажимная длина которого стремится к нулю, темпового параметра модели и относительного показателя неравномерности прочности по длине нити), характеризующих неравномерность прочности по длине текстильных нитей.

Библиографический список

1. *Перепелкин К.Е.* // Вестник МГТА. 1994. Вып.1. – С.139-151.
2. *Перепелкин К.Е., Иванцова Т.М. и др.* // Хим. волокна. 1989. № 1. – С.33-34.
3. *Ольшанский В.И., Кузнецов А.А.* Методика оценки показателей неравномерности прочности текстильных нитей по длине.– Витебск: ВГТУ, 2001. – 20 с.
4. *Кузнецов А.А., Ольшанский В.И.* Оценка и прогнозирование механических свойств текстильных материалов. – Витебск: ВГТУ, 2004. – 226 с.

USE OF TEST STATIC SIMULATION METHOD IN INVESTIGATION OF SCALE FACTOR INFLUENCE ON STRENGTH CHARACTERISTICS OF TEXTILE THREADS

A.A. Kuznetsov

(Moscow State Textile University)

The aim of investigation is to develop scientifically justified models of forecast of dependence of textile thread breaking load on the sample clamping length by the short-time test results. The scientific novelty of work involves the use of simulation modeling tests method, whose application makes it possible to present the process (phenomenon) being studied as a whole, to find common regularities, as well as to make forecasts and conclusions relative to its physical essence. There has been illustrated the possibility of application of simulation modeling method of half-cycle test for stretching used for investigation of scale effect of strength characteristics of textile threads of different raw material composition.