

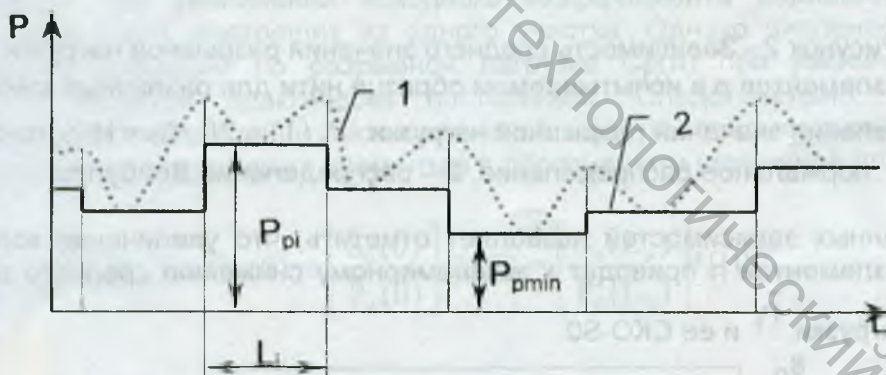
## ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ МАСШТАБНОГО ФАКТОРА НА ПРОЧНОСТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ТЕКСТИЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ МЕТОДАМИ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

А.А. Кузнецов, Д.А. Иваненков

Стабильность протекания технологических процессов получения и переработки нитей зависит не только от среднего уровня прочности нитей, но и от неровноты их по этому показателю. Прочность нитей регламентируют соответствующие стандарты, где прочностные характеристики определяются при определенной фиксированной зажимной длине. Однако, с изменением зажимной длины меняются и прочностные показатели. Данная зависимость получила название масштабного эффекта прочностных характеристик [1].

Целью проводимых исследований является разработка научно-обоснованных моделей прогноза зависимости разрывной нагрузки текстильных нитей (волокон) от зажимной длины образца по результатам кратковременных испытаний. Научная новизна проведенных исследований состоит в использовании метода имитационного моделирования испытаний, применение которого позволяет значительно снизить уровень временных и материальных затрат на проведение испытаний.

Построение имитационной модели осуществлялось на основе гипотезы "слабого звена" (weak-link). Предполагалось, что каждый  $j$ -тый 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 испытываемой партии),  $i$  – от 1 до  $n$  ( $n$  – число структурных элементов вдоль нити). Схематическое представление изменения прочности по длине текстильной нити при построении имитационной модели представлено на рис. 1.



С помощью программы, реализованной в математической системе "Maple V", сначала осуществлялось моделирование эксперимента по испытанию на разрыв партии из  $m$  образцов, состоящих из некоторого числа  $n$  структурных элементов с заданными значениями  $\bar{P}_p(1)$  и  $C_p(1)$  (где  $\bar{P}_p(1)$ ,  $C_p(1)$  – 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  $\bar{P}_p(n)$  не совпадает с задаваемым законом распределения  $\bar{P}_p(1)$  (где  $\bar{P}_p(n)$ ,  $C_p(n)$  – 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.

Для выявления влияния зажимной длины  $L_0$  нити на среднее значение разрывной нагрузки  $\bar{P}_p$  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  $\bar{P}_p(1)$ ,  $C_p(1)$ ; вид и параметры закона распределения числа участков цепи  $\bar{n}$  и  $C_p$ ; число испытываемых образцов  $m$ .

На рис.2–3 представлены зависимости среднего значения разрывной нагрузки  $\bar{P}_p(n)$  (рис.2) и среднеквадратического отклонения (СКО) по разрывной нагрузке  $S_0(n)$  (рис.3) от числа элементов  $n$  в исследуемом образце нити для различных законов распределения значений разрывной нагрузки ( $\bar{P}_p(1) = 20$ ,  $C_p = 15\%$ ,  $m=50$ , 1 – нормальное распределение, 2 – распределение Вейбулла).

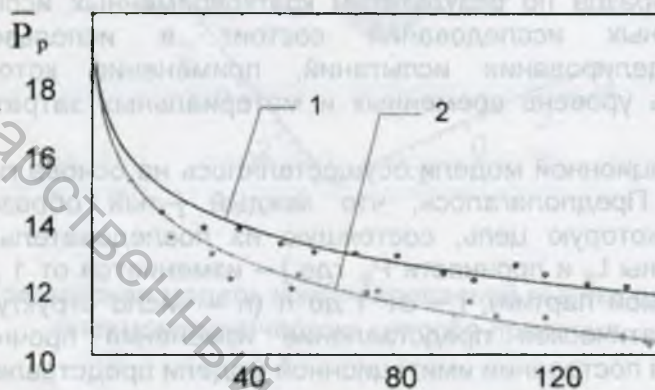


Рисунок 2 - Зависимость среднего значения разрывной нагрузки  $\bar{P}_p$  от числа элементов  $n$  в испытываемом образце нити для различных законов распределения значений разрывной нагрузки.  $\bar{P}_p(1) = 20$ ,  $C_p = 15\%$ ,  $m=50$ . 1 – нормальное распределение, 2 – распределение Вейбулла

Анализ данных зависимостей позволяет отметить, что увеличение количества структурных элементов  $n$  приводит к закономерному снижению среднего значения разрывной нагрузки  $\bar{P}_p$  и ее СКО  $S_0$ .

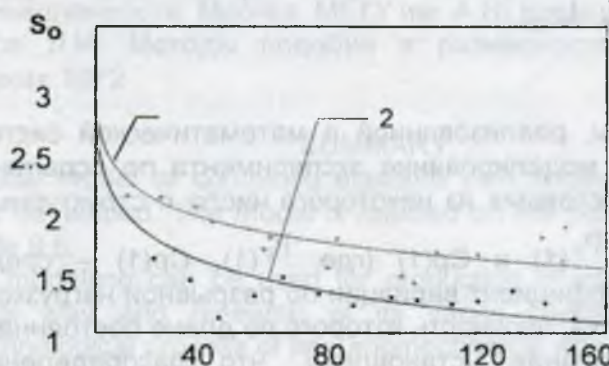


Рисунок 3 - Зависимость среднеквадратического отклонения (СКО) по разрывной нагрузке  $S_0$  от числа элементов  $n$  в испытываемом образце нити для различных законов распределения значений разрывной нагрузки.  $\bar{P}_p(1) = 20$ ,  $C_p = 15\%$ ,  $m=50$ . 1 – нормальное распределение, 2 – распределение Вейбулла

Это объясняется тем, что при увеличении числа участков  $n$  увеличивается вероятность появления элемента 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:

$$\bar{P}_p(L_0) = (\bar{P}_p(0) - \bar{P}_{p,сл}) \cdot \exp\left(-\frac{L_0}{K_L}\right) + \bar{P}_{p,сл} \quad (1)$$

где  $\bar{P}_p(L_0)$  – среднее значение разрывной нагрузки, как функции зажимной длины  $L_0$ ;

$\bar{P}_{p,сл}$  – средняя разрывная нагрузка наиболее слабых звеньев, испытываемого образца нити;

$\bar{P}_p(0)$  – среднее значение разрывной нагрузки в партии образцов, зажимная длина которой стремится к 0;

$K_L$  – параметр модели, определяющий темп уменьшения разрывной нагрузки

$\bar{P}_p(L_0)$  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:

$$\frac{\bar{P}_p(0) - \bar{P}_{p,сл}}{\bar{P}_p(K_L) - \bar{P}_{p,сл}} = \frac{\Delta P_{p,мах}}{\Delta P_{p,тек}} = e$$

Темп уменьшения среднего значения разрывной нагрузки  $\bar{P}_p$  и ее СКО  $S_0$  увеличивается 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 СКО от количества структурных элементов в образце нити (зажимной длины)  $S_0(L_0)$ :

$$C_p(L_0) = C_p(0) = \left[ \frac{S_0(0)}{\bar{P}_p(0)} \right] \cdot 100 = \left[ \frac{S_0(L_0)}{\bar{P}_p(L_0)} \right] \cdot 100 \quad (2)$$

Тогда

$$\frac{d e_{o.ц}}{d n} = -M \left( e_{o.ц} - e_{кр} \right)^k$$

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

где  $S_{0,сл}$  – среднеквадратическое отклонение по разрывной нагрузке наиболее слабых звеньев испытываемых образцов нитей;

$S_0(0)$  – среднеквадратическое отклонение по разрывной нагрузке в партии образцов, зажимная длина которой стремится к 0.

Асимметрия закона распределения, отражающая смещение моды относительно среднего значения, существенно влияет на закономерность уменьшения среднего

значения разрывной нагрузки  $\bar{P}_p$  и ее СКО  $S_0$ , 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 СКО по сравнению с симметричным (нормальным) распределением.

С целью экспериментальной проверки предварительных выводов, сформулированных выше, была произведена экспериментальная оценка разрывной нагрузки текстильных нитей различного сырьевого состава при различных зажимных расстояниях.

Анализ результатов показывает закономерное снижение разрывной нагрузки с увеличением зажимной длины, при этом, коэффициент вариации по разрывной нагрузке, практически, остается неизменным. Это свидетельствует о полном соответствии экспериментальных данных основным положениям предварительных выводов, основанных на анализе результатов имитационного моделирования.

Дальнейшие аналитические и экспериментальные исследования [2–3] неравномерности прочностных характеристик текстильных материалов по длине позволили предложить в качестве критерия косвенной оценки дефектности, вызванной неравномерностью прочности по длине образца текстильной нити, относительный показатель неравномерности прочности  $\psi_d$  (%):

$$\psi_d = \frac{\bar{P}_p(0) - \bar{P}_{p,ст}}{\bar{P}_{p,ст}} \cdot 100 = \frac{\Delta \bar{P}_p}{\bar{P}_{p,ст}} \cdot 100, \quad (4)$$

где  $\Delta \bar{P}_p$  – максимально возможное изменение среднего значения разрывной нагрузки нити вызванное масштабным фактором;

$\bar{P}_{p,ст}$  – среднее значение разрывной нагрузки нити, определенное в стандартных условиях.

Таким образом, в результате проведенных исследований разработан алгоритм статистической имитационной модели, реализующий масштабный эффект прочностных характеристик текстильных нитей и математическая модель влияния зажимной длины на разрывную нагрузку текстильных нитей, отличительной особенностью которой является тот факт, что её параметры имеют строго определенный физический смысл,

произведено обоснование ряда дополнительных показателей (средней разрывной нагрузки наиболее слабых звеньев, испытываемого образца нити  $\bar{P}_{p,ст}$ , средней разрывной нагрузки образца нити, зажимная длина которого стремится к 0  $\bar{P}_p(0)$ , темпового параметра модели  $K_L$  и относительного показателя неравномерности прочности по длине текстильной нити  $\psi_d$ ), характеризующих неравномерность прочности по длине текстильных нитей, и разработана методика их оценки по результатам полуциклового испытания на растяжение, что повышает информативность данного вида испытания текстильных нитей.

#### Список использованных источников

1. Перепелкин К.Е. Дефектность и технологическая работоспособность нитей – основные факторы стабильности процессов их получения и переработки / Вестник МГТА – 1994. – Вып.1. – С.139-151.
2. Ольшанский В.И., Кузнецов А.А. Методика оценки показателей неравномерности прочности текстильных нитей по длине. – Витебск: ВГТУ, 2001 – 20 с.
3. Кузнецов А.А., Ольшанский В.И. Оценка и прогнозирование механических свойств текстильных материалов. – Витебск: УО «ВГТУ», 2004. – 226 с.

## SUMMARY

With change of tightening length at test of textile materials vary them прочностные parameters. The given dependence has received the name of scale effect прочностных of the characteristics. As a result of the carried out (spent) researches the algorithm of statistical imitating model realizing scale effect прочностных of the characteristics of textile strings and mathematical model of influence of tightening length on explosive loading of textile strings is developed, which distinctive feature is that fact, that parameters have the strictly certain physical sense. The substantiation of a number of additional parameters describing non-uniformity of durability on length of textile strings is made and the technique of their rating by results of полуциклового of test for a stretching is developed, that raises of the given kind of test of textile strings.

УДК. 677.002.56

### МЕТОДИКА ГРАДУИРОВКИ ДАТЧИКА ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ДАВЛЕНИЯ ТЕКСТИЛЬНЫХ ИЗДЕЛИЙ

М.А. Кукушкин, Н.П. Белая

Средства компрессионной терапии являются эффективными при начальных стадиях заболеваний вен. Лечебный эффект чулочных изделий с нормированным давлением обусловлен специальным распределением давления вдоль ноги, обоснованным с медицинской точки зрения. По рекомендациям медиков, давление в чулке должно быть максимальным на участке щиколотки, и уменьшаться по направлению к бедру по линейному закону. Для измерения давления в чулке, надетом на ногу, используются специальные приборы различных конструкций, имеющиеся в ограниченных количествах. Для замеров давления используются механический, пневматический, тензометрический принципы. Тензометрический датчик давления имеет минимальную погрешность по сравнению с остальными конструкциями и является наиболее удобным в применении [1].

В Республике Беларусь не существует приборной базы для проведения подобных измерений, поскольку подобные датчики являются узкоспециализированными [2]. На кафедре технологии трикотажного производства учреждения образования «Витебский государственный технологический университет» был сконструирован прибор для измерения давления в эластичных изделиях, использующий тензометрический датчик. Данный прибор переводит давление изделия на тело в единицы силы тока. Для определения соответствия между возникающим током и давлением эластичной оболочки проводится градуировка прибора. К датчику прикладывается определенное усилие, соответствующее некоторому расчетному давлению в изделии. Этому усилию ставится в соответствие показание прибора.

Давление на датчик, помещенный между оболочкой и телом, зависит не только от величины приложенных сил, но и от направления их действия, то есть от радиуса кривизны тела. Для уменьшения погрешности измерений проводится создание шкал пересчета давления по семи диапазонам, соответствующих радиусам цилиндрического тела от 3 до 9 см [3]. Градуировка по всем диапазонам является достаточно трудоемкой. Целью данной работы является совершенствование методики градуировки прибора, а также оценка изменений, происходящих в тензометрическом датчике давления с течением времени.

Основные используемые датчики имеют диапазон измерения давления 1 – 20 мм. рт. ст. с ценой деления 1 мм. рт. ст. Для создания расчетного давления на вершине цилиндра использовался комплект разновесов. Для создания одной шкалы выбирался цилиндр определенного радиуса. На вершину его помещался датчик, сверху располагался образец эластичного материала. К краям образца прикреплялись разновесы, создающие расчетное давление на датчик 1 мм. рт. ст. Снимались показания прибора. Затем нагрузка увеличивалась, показанию прибора