

ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОЛУЦИКЛОВОГО ИСПЫТАНИЯ НА РАСТЯЖЕНИЕ ПУЧКА ВОЛОКОН

Коган А.Г., Кузнецов А.А.,
Махаринский Е.И., Ольшанский В.И.

(ВГТУ)

Согласно стандарту разрывную нагрузку и удлинение при разрыве химических волокон определяют испытанием одиночных волокон на разрывных машинах, а разрывная нагрузка хлопкового волокна определяется испытанием на разрыв специально подготовленных пучков волокон. Разрывная нагрузка для одного волокна определяется по формуле [1]:

$$\bar{P}_p = K \cdot \frac{Q_p}{N_b},$$

где \bar{P}_p - среднее значение разрывной нагрузки одного волокна;
 Q_p - разрывная нагрузка пучка волокон;
 N_b - количество волокон в пучке;
 $K=1.445$ - коэффициент учитывающий снижение суммарной нагрузки Q_p , вследствие неодновременного разрушения волокон.

В работе [2] проведено теоретическое исследование влияния продольной и поперечной гетерогенности прочности в жгуте нитей на кривую растяжения. Вводится понятие энтропии H , которая характеризует не только неравномерность каждого свойства, но и учитывает корреляцию между различными свойствами (P_p и l_p) отдельных волокон (нитей). Предложена сложная математическая модель зависимости растягивающей силы P от удлинения l пучка нитей, которая учитывает условный закон распределения разрывного удлинения и среднюю функцию деформации волокон определенной группы. Но из работы неясно, как выбираются и какими параметрами характеризуются указанные закон распределения и функция деформации.

Из приведенных в данной работе зависимостей можно сделать вывод, что разрывное удлинение нити линейно увеличивается с увеличением разрывной нагрузки. Опубликованные [3] данные экспериментальных исследований показывают, что такое предположение далеко не всегда верно. В работе [3] теоретически рассмотрен частный случай, когда растягивающая сила прямо пропорциональна удлинению с одинаковым для всех нитей коэффициентом пропорциональности, а разрывное удлинение распределено по нормальному закону. Кроме того, анализ работ [3,4,5] указывает, что влияние разнородности участков волокон между зажимами, вызванной различной степенью их извитости в пучке не рассматриваются.

В настоящей работе методом имитационного моделирования исследуется самый общий случай испытания на растяжение пучка волокон (нитей), когда для каждого i -го волокна в пучке из N элементов, случайными величинами являются не только характеристики кривой растяжения, но и степень извитости.

Авторами данной работы для анализа процесса деформирования и разрушения текстильных материалов была предложена универсальная математическая модель [6], в соответствии с которой для i -го волокна можно записать

$$P_i = \frac{l_i}{C_{0i} + C_{1i} l_i} + C_{2i} l_i^2 \quad (1)$$

где P_i – нагрузка, приложенная к i -тому волокну; l_i – абсолютное удлинение i -того волокна; C_{0i} , C_{1i} и C_{2i} – параметры модели, характеризующие упругие, пластические и упрочняющие свойства i -того волокна.

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

$$C_{0i} = \frac{l_{pi} \gamma}{\sigma_{yi} T_i}; \quad C_{1i} = \left(\frac{1}{\sigma_{ni}} - \frac{1}{\sigma_{yi}} \right) \cdot \frac{\gamma}{T_i}; \quad C_{2i} = \frac{(\sigma_{pi} - \sigma_{ni}) \cdot T_i}{l_{pi}^2 \cdot \gamma}; \quad (2)$$

где l_{pi} – абсолютное разрывное удлинение i -го волокна; γ – плотность материала волокна; T_i – линейная плотность i -того волокна; σ_{ni} – условный предел пластичности i -того волокна; σ_{yi} – условный предел упругости i -того волокна; σ_{pi} – предел прочности i -того волокна.

Переменными, случайными величинами для каждого i -того волокна будут являться значения l_{pi} , T_i , σ_{ni} , σ_{yi} , σ_{pi} и ΔL_i . На начальном этапе имитационного моделирования генератор случайных чисел, в соответствии с заданным законом распределения, генерирует N (по числу волокон в пучке) случайных значений l_{pi} , T_i , $(\sigma_{pi} - \sigma_{ni})$, σ_{yi} и L_i . Затем определяются параметры математической модели (1) C_{0i} , C_{1i} , C_{2i} и P_{pi} . Из всех волокон выбирается самое короткое, длиной L_{min} , тогда каждому из остальных волокон будет соответствовать излишек длины ΔL_i , который определяется как $\Delta L_i = L_i - L_{min}$. Полученные значения параметров запоминаются. Имитационное моделирование эксперимента состоит в том, что нижнему зажиму разрывной машины последовательно сообщается постоянное на каждом шаге перемещение, что вызывает удлинение Δl . Тогда удлинение на j -том этапе моделирования l_j будет, соответственно, определяться, как $l_j = j \cdot \Delta l$. На j -том этапе для каждого i -того волокна вычисляются абсолютное удлинение l_{ij} и, приложенная к данному волокну, нагрузка P_{ij} :

$$l_{ij} = j \cdot \Delta l - \Delta L_i; \quad P_{ij} = \frac{l_{ij}}{C_0 + C_1 \cdot l_{ij}} + C_{2i} \cdot l_{ij}. \quad (3)$$

Если $l_{ij} \leq 0$ (когда $\Delta L_i \leq j \cdot \Delta l$), то P_{ij} принимают равной нулю. Условием разрушения i -того волокна является выполнение одного из следующих неравенств: $l_{ij} \geq l_{pi}$ или $P_{ij} > P_{pi}$ и далее P_{ij} принимается равной нулю.

На каждом этапе моделирования определяется суммарная сила растяжения Q_j и средняя сила, приходящаяся на одно волокно \bar{P}_j .

$$Q_j = \sum_{i=1}^N P_{ij} \bar{P}_j = \frac{Q_j}{N} \quad (4)$$

Данная имитационная модель реализована в математической системе "Maple" и позволяет графически представить приведенные кривые растяжения пучка волокон в

координатах $\bar{P}_j - l_j$. Некоторые из них для "синтезированного" согласно [3] условного волокна представлены рис.1...4.

Анализ зависимостей, приведенных на рис.1...4, показал, что вариации между волокнами пучка условного предела упругости σ_y , условного предела пластичности σ_n , линейной плотности T и предела прочности упрочнения σ_p практически не влияет на приведенную к одному волокну кривую "удлинение - нагрузка".

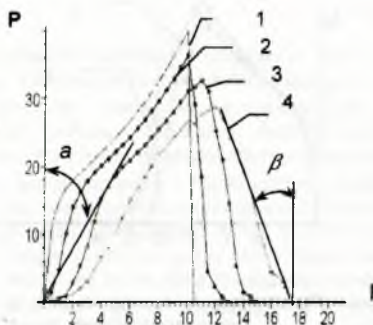


Рис.1. Влияние вариации степени извитости волокон в пучке на характеристики приведенной кривой «нагрузка - абсолютное удлинение». 1 - $C_L=0\%$; 2 - $C_L=2.5\%$; 3 - $C_L=5\%$; 4 - $C_L=7.5\%$;

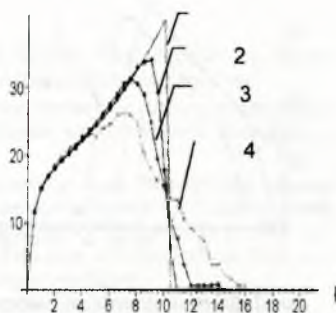


Рис.2. Влияние нестабильности абсолютного разрывного удлинения l_p волокон в пучке на характеристики приведенной кривой «нагрузка - абсолютное удлинение». 1 - $C_p=0\%$; 2 - $C_p=5\%$; 3 - $C_p=15\%$; 4 - $C_p=30\%$;

Существенное влияние оказывает вариация между волокнами пучка удлинения при разрыве (рис.2) и степени извитости (рис.1). С увеличением коэффициента вариации этих показателей между волокнами пучка изменяется форма кривой растяжения, значение и положение ее максимума, а также полное удлинение при разрыве. При увеличении коэффициента вариации удлинения при разрыве уменьшается максимальная сила растяжения и уменьшается значение разрывного удлинения первой, из разорвавшихся нитей. Также при этом увеличивается отклонение от вертикальности нисходящей части кривой растяжения (рис.1). Начальная часть кривой растяжения практически не изменяется. Первые волокна в пучке начинают рваться при приближении кривой растяжения к максимуму. Средний угол наклона β нисходящей части кривой растяжения к вертикали в первом приближении пропорционален коэффициенту вариации удлинения разрыва между волокнами пучка.

$$C_p \approx 1,11 \cdot \beta^\circ. \quad (5)$$

При увеличении коэффициента вариации извитости волокон в пучке не только уменьшается максимальная сила растяжения (максимум сдвигается вправо), но изменяется форма как правой, так и левой части кривой растяжения (рис.1). Угол наклона α касательной, проведенной из начала координат к левой, восходящей части кривой растяжения, к вертикали может служить приближенной оценкой коэффициента вариации извитости волокон C_L в пучке.

$$C_L \approx 0,3 \cdot \alpha^\circ. \quad (6)$$

Следует отметить, что модели (5) и (6) справедливы при достаточно большом количестве ($N \geq 50$) волокон в пучке, так как при малом их числе (10) приведенная кривая растяжения несколько изменяет свою форму. Как это следует из рис. 3 и 4 углы α и β несколько уменьшаются, а максимум силы растяжения сдвигается влево.

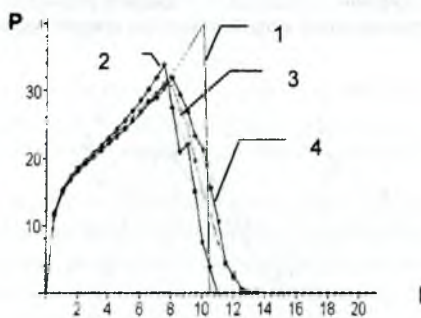
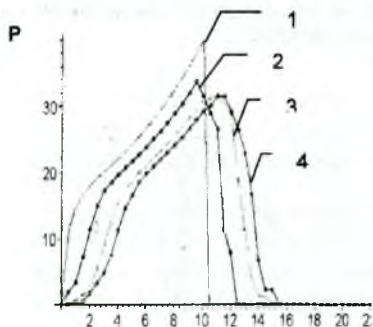


Рис.3. Влияние количества волокон в пучке на характеристики приведенной кривой «нагрузка - абсолютное удлинение» при постоянной вариации степени извитости волокон $C_L=5\%$
1 - $C_L=0\%$, $n=50$; 2 - $C_L=5\%$, $n=10$; 3 - $C_L=5\%$, $n=50$; 4 - $C_L=5\%$, $n=100$;

Рис.4. Влияние количества волокон в пучке на характеристики приведенной кривой «нагрузка - нагрузка» при постоянной нестабильности абсолютного разрывного удлинения I_p волокон. $C_{IP}=15\%$
1 - $C_{IP}=0\%$, $n=50$; 2 - $C_{IP}=15\%$, $n=10$; 3 - $C_{IP}=15\%$, $n=50$; 4 - $C_{IP}=15\%$, $n=100$;

Таким образом, проведенные аналитические исследования позволяют в первом приближении оценить коэффициенты вариации извитости и разрывного удлинения волокон в пучке. Дальнейшие исследования в этом направлении позволяют получить более точные и информативные модели, а также существенно сократить материальные и временные затраты при проведении испытания.

Литература .

1. Кирюхин С.М., Соловьев А.В. Контроль и управление качеством текстильных материалов. М.: Легкая индустрия, 1977 -311 с.
2. Сорокин Е.Я., Перепелкин К.Е. Исследование по неравномерности химических волокон. /В сб. Механические свойства и износостойкость текстильных материалов/ Доклады VII Всесоюзной научной конференции по текстильному материаловедению. Вильнюс-Каунас. 1971, стр.98-103 с.
3. Мортон В.Е., Хёрл О.В. Механические свойства текстильных волокон. Перевод с английского. М.: Легкая индустрия, 1971.-181 с.
4. Панкратова М.А., Гапонова В.П. Текстильные волокна. М.: Легпромбытиздат, 1986.-270 с.
5. Перепелкин К.Е. Дефектность и технологическая работоспособность нитей – основные факторы стабильности процессов их получения и переработки. Вестник Московской государственной текстильной академии. Вып.1. М.:1994 г. 139-151 с.
6. Махаринский Е.И., Ольшанский В.И., Кузнецов А.А. 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.