

УДК 677.017.463:531.43

**ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ  
ДЕФОРМИРОВАНИЯ ХЛОПКОВОЙ ПРЯЖИ ПРИ РАСТЯЖЕНИИ**

**EXPERIMENTAL REGULARITIES OF DEFORMATION  
OF THE COTTON YARN AT STRETCHING**

*К.С. СУЛТАНОВ, С.И. ИСМАИЛОВА, Ш.Э. ТУЛАНОВ*  
*K.S. SULTANOV, S.I. ISMAILOVA, SH.E. TULANOV*

(Институт сейсмостойкости сооружений Академии наук Республики Узбекистан,  
Ташкентский институт текстильной и легкой промышленности)  
(Institute of Seismic Stability of Constructions of SA of the Republic of Uzbekistan,  
Tashkent Institute of Textile and Light Industry)  
E-mail: sultanov.karim@mail.ru, sultanov.karim@gmail.com

*На основе результатов экспериментов по растяжению хлопковой пряжи получены нелинейные зависимости растягивающей силы от продольной деформации нити. Предположено, что причиной проявления нелинейного деформирования хлопковой пряжи является изменение механических характеристик пряжи при растяжении; определены изменения модуля деформации в зависимости от значений продольной деформации.*

*On the basis of results of experiments on stretching of a cotton yarn nonlinear dependences of the stretching force on longitudinal deformation of a thread are received. It is assumed that change of mechanical characteristics of a yarn is the reason of manifestation of nonlinear deformation of a cotton yarn at stretching and changes of the module of deformation depending on values of longitudinal deformation are defined.*

**Ключевые слова:** нить, хлопковая пряжа, напряжение, деформация, структура, растяжение, разрушение нити, модуль деформации, нелинейность.

**Keywords:** thread, cotton yarn, stress, strain, structure, stretching, thread damage, strain modulus, non-linearity.

Прочность является одним из важнейших показателей качества хлопковых пряж [1], [2]. Определение прочности хлопковых пряж проводится в основном с ис-

пользованием расчетно-эмпирических формул А.Н. Соловьева, К.И. Корицкого, Н.М. Белицына, Б.П. Позднякова, В.Е. Зотикова, И.В. Будникова, П.П. Трыкова,

И.М. Раха [1...7], основанных на уравнении равновесия при растяжении пряжи и результатов соответствующих экспериментов. Разработаны также регрессионные уравнения и аналитические методы проектирования прочности пряжи и нити [8].

Для определения прочностных свойств пряжи наиболее достоверными и применимыми на практике являются формулы А.Н. Соловьева, где учитываются различные системы прядения, длина волокон в пряже, линейная плотность волокна и пряжи, удельная неровнота пряжи, поправка на крутку, состояние прядильного оборудования. Используя формулы А.Н. Соловьева, с достаточно высокой точностью можно определить относительную разрывную (критическую) нагрузку, при которой пряжа обрывается.

Предложенные расчетно-эмпирические формулы или математические модели для прогнозирования прочности пряжи позволяют определить конечное значение нагрузки, при достижении которой происходит обрыв нити.

Для определения механизма образования напряжения и деформации пряжи при растяжении необходимо уравнение состояния, учитывающее процессы, происходящие при растяжении пряжи.

Упомянутые выше расчетно-эмпирические формулы, с помощью которых определяется разрывная нагрузка, не могут заменить законы деформирования нити при растяжении. Законы деформирования нити при растяжении, изгибе и кручении с учетом упругих, вязких и пластических свойств материала предложены в [9]. В [9], [10] отмечено, что возникающие в нити напряжения (в том числе разрывная нагрузка) существенно зависят от скорости деформирования, то есть скорости растяжения. Исследования процессов при высоких скоростях деформации приводят к необходимости исследования процесса распространения волн в пряже [11]. Динамические (волновые) процессы деформирования нитей необходимо исследовать на основе физически нелинейных математических моделей напряженно-деформированного состояния [8...12].

Предложенный в [9] физически нелинейный закон деформирования требует определения текущего модуля жесткости  $E_t$  в процессе растяжения нити. В целях определения изменения модуля жесткости хлопковой пряжи при растяжении были проведены эксперименты на стандартной разрывной установке Statimat C.

Для проведения опытов использовали однородную хлопковую пряжу кардной системы, выработанную на пневмомеханической прядильной машине из средневолокнистого хлопка 1 сорта, 1 группы зрелости, 4-го типа волокна. При их изготовлении в соответствии с межгосударственным стандартом ГОСТ 11970.0–2003 были заданы номинальные линейные плотности пряжи (в скобках указано количество исследованных бобин):  $T=14,0$  (2); 15,4 (2); 16,5 (2); 18,5 (5); 29,0 (16); 50,0 (10); 72,0 (4); 100,0 (3) и 160,0 (1) текс. Отборы пряж для испытания с данными линейными плотностями являются случайными [2]. Перед проведением опытов линейную плотность пряжи для каждой бобины определяли отдельно. Для измерения линейной плотности нитей (пряжи) с помощью мотовила НМ-3 в автоматическом режиме наматывали 50 маленьких моточков (пасм) длиной в 112,5 м (для 100 оборотов мотовила). После этого намотанные образцы поочередно взвешивали на весах SK-60 Н. После окончания взвешивания всех моточков на принтере выдавались следующие данные: дата проведения проверки, номер партии, общее количество взвешенных пасм, суммарная линейная плотность всех пасм в денье, максимальный показатель, минимальный показатель, разница между минимумом и максимумом, средняя линейная плотность в денье, стандартное отклонение, коэффициент вариации (в %) и максимальное отклонение.

Используя результаты измерений линейной плотности для каждой бобины, определяли коэффициенты вариации неровноты линейной плотности (квадратическая неровнота) согласно ГОСТу 6611.1–73 и по методике [13]. Значения коэффициента вариации  $C_v$  для рассмотренных в опытах 45 бобин хлопковой пряжи изме-

няются в пределах от 0,6 до 2%, что соответствует республиканскому стандарту УзГОСТ 2322–2011.

На установке Statimat C испытывали пряжу на разрыв в автоматическом режиме с помощью собственного программного обеспечения, отматывая пряжу с бобины и удерживая в зажимах при заданном расстоянии, равном 500 мм [2]. Результаты испытаний выдавались на экран компьютера, когда прибор заканчивал испытание образца; полученные данные распечатывались на принтере.

Испытания проводили сериями по 50 повторов с каждой бобины (всего 45 бобин). Длина образцов составляла 500 мм, средняя скорость растяжения нити около  $0,015 \text{ с}^{-1}$ .

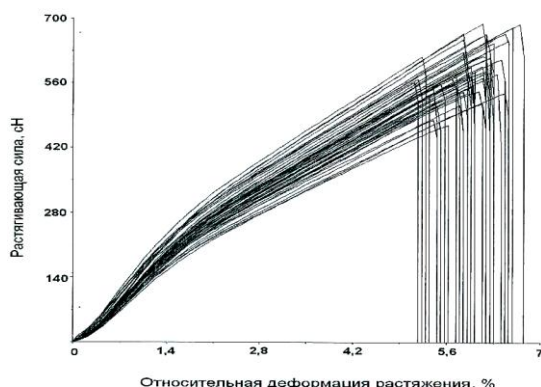


Рис. 1

На рис.1 приведены 50 зависимостей растягивающей силы от относительной деформации  $F(\epsilon)$ , полученные для хлопковой пряжи линейной плотностью  $T=50,0$  текс. Зависимости  $F(s)$ , полученные в опытах для остальных 45 бобин пряжи, аналогичны кривым на рис.1. Как видно из рис. 1, экспериментальные зависимости  $F(\epsilon)$  являются нелинейными, при этом в процессе деформирования знак кривизны  $F(\epsilon)$  меняется. В начале процесса деформирования хлопковой пряжи зависимость  $F(\epsilon)$  имеет выпуклость вниз, а затем – вверх. Далее зависимость  $F(\epsilon)$  примерно остается линейной.

Типичные кривые зависимостей растягивающей силы от относительной деформации приведены в [9]. Согласно [9] эти кривые в основном бывают трех типов: вы-

пуклые вниз, выпуклые вверх и с переменным знаком кривизны, что наблюдается в наших опытах. Для первых двух типов кривых в [9] предложены законы изменения модуля жесткости нити в зависимости от изменения деформации. Для третьего типа кривых – когда изменения текущего модуля деформации при растяжении пряжи не определены. Полученные нами экспериментальные данные позволяют определить изменение текущего модуля жесткости  $E_x$  хлопковой пряжи при растяжении. В процессе растяжения нить испытывает упругие и пластические стадии деформирования [9], поэтому модуль жесткости в дальнейшем назовем модулем деформации.

Из диаграммы  $F(s)$  можно определить фактический модуль деформации  $E_f$  или секущий модуль деформации  $E$ . Фактический модуль деформации определяется проведением касательной линии в каждой точке кривой  $F(\epsilon)$ , а секущий модуль деформации в каждой точке кривой  $F(s)$  равен  $E = F/\epsilon$  [2].

Из диаграммы  $F(s)$  более точно определяется секущий модуль деформации  $E$ , поэтому далее рассматриваем изменение секущего модуля деформации при растяжении хлопковой пряжи и считаем  $E = E_T$ .

Секущий модуль деформации определяется из усредненной диаграммы  $F(\epsilon)$  (рис.2). Усредненную зависимость  $F(\epsilon)$  для каждой серии опытов также выдает сама установка Statimat C в автоматическом режиме.

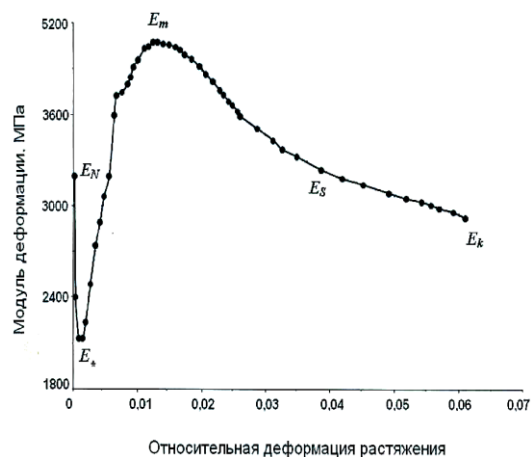


Рис. 2

Модели деформирования, как правило, пишутся для зависимостей нормальных напряжений от относительной деформации  $\sigma(\epsilon)$ . Относительная деформация  $\epsilon$  в этом выражении является безразмерной величиной, в отличие от диаграмм, приведенных на рис. 1 и 2, где она указывается в процентах ( $\epsilon = 10^{-2} \epsilon\%$ ).

Для определения нормальных напряжений в образце воспользуемся соотношением  $\sigma=F/S$ , где  $S$  – условное поперечное сечение пряжи, которое можно определить по формуле  $S = T/\rho_v$ . В последней  $T$  – линейная плотность, текс, а  $\rho_v$  – объемный вес хлопкового вещества, из которого состоят волокна (для хлопка  $\rho_v=1,5$  мг/мм<sup>3</sup>). Тогда секущий модуль деформации, МПа, можно определить из выражения  $E = \sigma/\epsilon$ .

На рис. 3 приведены зависимости модуля деформации от самой деформации  $E(\epsilon)$ , определенные из усредненных зависимостей  $F(\epsilon)$  на рис.2.

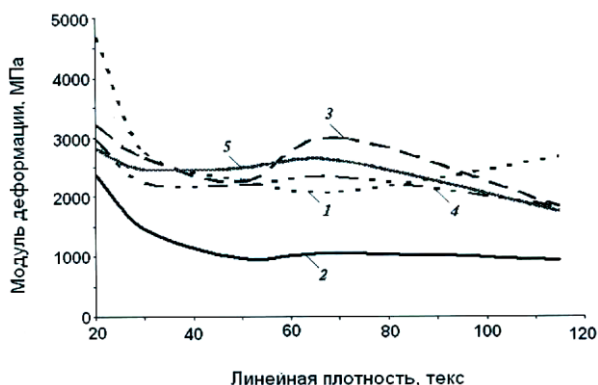


Рис. 3

Как видно из рис. 3, изменение секущего модуля деформации (в дальнейшем модуль деформации) в зависимости от  $\epsilon$  существенно нелинейное.

Характер изменения модуля деформации  $E(\epsilon)$  на рис. 3 показывает, что в начале процесса деформирования хлопковой пряжи модуль деформации от начального значения  $E_N$  интенсивно падает до значения  $E_*$ , достигаемого при  $\epsilon=\epsilon_*$ . Далее наблюдается рост значения  $E$  до максимального  $E_m$  при  $\epsilon=\epsilon_m$ . Затем идет спад значения модуля  $E$  до значения  $E_s$  при  $\epsilon=\epsilon_s$ . После достижения  $E_s$  значение  $E$  уменьшается с малой интенсивностью до значения  $\epsilon=\epsilon_k$ . При до-

стижении  $\epsilon = \epsilon_k$  при  $E = E_k$  происходит обрыв хлопковой пряжи.

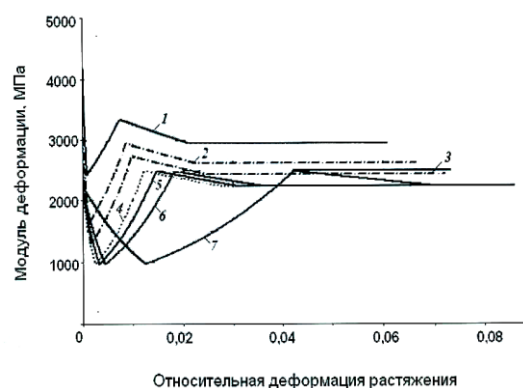


Рис. 4

На рис. 4 приведена зависимость  $E(\epsilon)$ , полученная для пряжи из другой бобины, также с линейной плотностью  $T=50$  текс. Как видно из рис. 4, после достижения  $E_s$  модуль деформации  $E$  остается практически постоянным до значения  $E=E_k$ .

В общей сложности для пряжи из 45 бобин с девятью разными номинальными значениями линейной плотности получены по 45 зависимостей  $F(\epsilon)$ , аналогичные приведенным зависимостям на рис.1 и 2. Из усредненных 45 зависимостей  $F(\epsilon)$  получены 45 зависимостей  $E(\epsilon)$ , которые также аналогичны кривым на рис. 3 и 4.

Анализ полученных зависимостей  $E(\epsilon)$  показывает, что для них характерными параметрами являются значения модулей деформации  $E_N, E_*, E_m, E_s, E_k$ , достигаемые соответственно при значениях относительной деформации  $\epsilon_*, \epsilon_m, \epsilon_s, \epsilon_k$ . Нахождение аппроксимирующих функций для зависимостей  $E(\epsilon)$ , приведенных на рис. 3 и 4, и с их помощью, следуя [9], определение уравнений состояния (законы деформирования) хлопковых пряж, с которыми проводили испытания, – предмет дальнейших исследований в этом направлении.

## ВЫВОДЫ

На основе результатов опытов по растяжению хлопковой пряжи получены нелинейные зависимости растягивающей силы  $F$  от деформации растяжения нити  $\epsilon$ .

Предполагается, что в экспериментальных зависимостях  $F(\epsilon)$  нелинейность проявляется в силу изменения модуля деформации хлопковой пряжи при растяжении. В результате обработки опытных данных получены изменения  $E$  в зависимости от деформации  $\epsilon$ . Определены основные параметры зависимости  $E(\epsilon)$ , характеризующие изменение  $E$ .

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Кукин Г.Н. Текстильное материаловедение (исходные текстильные материалы). – М.: Легпромбытиздат, 1985.
2. Кукин Г.Н. Текстильное материаловедение (волокна и нити). – М.: Легпромбытиздат, 1989.
3. Корицкий К.И. Техничко-экономическая оценка и проектирование качества текстильных материалов. – М.: Легкая и пищевая промышленность, 1983.
4. Раха И.М. Определение прочности хлопчатобумажной пряжи // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 1993, №5. С. 27...31.
5. Соловьев А.Н. Определение характеристик жесткости нити при растяжении // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 1962, №4. С. 18...25.
6. Соловьев А.Н. Сравнение жесткости разных нитей при растяжении // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 1962, №5. С. 17...20.
7. Соловьев А.Н. Определение текущего и конечного модулей жесткости при растяжении // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 1969, №5. С. 15...18.
8. Щербаков В.П., Скуланова Н.С. Основы теории деформирования и прочности текстильных материалов. – М.: Изд-во МГТУ им. А.Н. Косыгина, 2008.
9. Мигушов И.И. Механика текстильной нити и ткани. – М.: Легкая индустрия, 1980.
10. Мортон В.Е., Херл Дж.В.С. Механические свойства текстильных волокон. – М.: Легкая индустрия, 1971.
11. Щербаков В.П., Болотный А.П., Цыганов И.Б., Полякова Т.И. Вычисление критериев длительной прочности при нагружении нити основы на ткацком станке // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2011, №6. С. 129...135.
12. Щербаков В.П., Болотный А.П. Уточнение аналитического описания напряженно-деформированного состояния нити // Изв. вузов.

Технология текстильной промышленности. – 2009, №6. С. 113... 118.

13. Севостьянов А.Г. Методы и средства исследования механико-технологических процессов текстильной промышленности. – М.: Изд-во МГТУ им. А.Н. Косыгина. 2007.

#### REFERENCES

1. Kukin G.N. Tekstil'noe materialovedenie (ishodnye tekstil'nye materialy). – M.: Legprombytizdat, 1985.
2. Kukin G.N. Tekstil'noe materialovedenie (volokna i niti). – M.: Legprombytizdat, 1989.
3. Korickij K.I. Tehniko-jekonomicheskaja ocenka i proektirovanie kachestva tekstil'nyh materialov. – M.: Legkaja i pishhevaja promyshlennost', 1983.
4. Raha I.M. Opredelenie prochnosti hlopchato-bumazhnoj prjazhi // Izv. vuzov. Tehnologija tekstil'noj promyshlennosti. – 1993, №5. S. 27...31.
5. Solov'ev A.N. Opredelenie harakteristik zhestkosti niti pri rastjazhenii // Izv. vuzov. Tehnologija tekstil'noj promyshlennosti. – 1962, №4. S. 18...25.
6. Solov'ev A.N. Sravnenie zhestkosti raznyh nitej pri rastjazhenii // Izv. vuzov. Tehnologija tekstil'noj promyshlennosti. – 1962, №5. S. 17...20.
7. Solov'ev A.N. Opredelenie tekushhego i konechnogo modulej zhestkosti pri rastjazhenii // Izv. vuzov. Tehnologija tekstil'noj promyshlennosti. – 1969, №5. S. 15...18.
8. Shherbakov V.P., Skulanova N.S. Osnovy teorii deformirovanija i prochnosti tekstil'nyh materialov. – M.: Izd-vo MGTU im. A.N. Kosygina, 2008.
9. Migushov I.I. Mehanika tekstil'noj niti i tkani. – M.: Legkaja industrija, 1980.
10. Morton V.E., Herl Dzh.V.S. Mehanicheskie svojstva tekstil'nyh volokon. – M.: Legkaja industrija, 1971.
11. Shherbakov V.P., Bolotnyj A.P., Cyganov I.B., Poljakova T.I. Vychislenie kriteriev dlitel'noj prochnosti pri nagruzhennii niti osnovy na tkackom stanke // Izv. vuzov. Tehnologija tekstil'noj promyshlennosti. – 2011, №6. S. 129...135.
12. Shherbakov V.P., Bolotnyj A.P. Utochnenie analiticheskogo opisanija naprjazhenno-deformirovannogo sostojanija niti // Izv. vuzov. Tehnologija tekstil'noj promyshlennosti. – 2009, №6. S. 113... 118.
13. Sevost'janov A.G. Metody i sredstva issledovanija mehaniko-tehnologicheskikh processov tekstil'noj promyshlennosti. – M.: Izd-vo MGTU im. A.N. Kosygina. 2007.

Рекомендована кафедрой текстильного материаловедения ТИТЛП. Поступила 02.10.15.