

УДК 677.017.422.2

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ЗАКОНА ДОЛГОВЕЧНОСТИ
НИТЕЙ СПЕЦИАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ
ИЗ ОПЫТОВ С ПОСТОЯННОЙ СКОРОСТЬЮ НАГРУЖЕНИЯ**

**IDENTIFICATION OF THE DURABILITY PARAMETERS
OF THREADS SPECIAL PURPOSE
OF THE EXPERIMENTS WITH CONSTANT SPEED LOADING**

П.Е. САФОНОВ, С.С. ЮХИН
P.E. SAFONOV, S.S. YUKHIN

(*ООО "ТЕКС-ЦЕНТР",
Российский государственный университет им. А.Н. Косыгина (Технологии. Дизайн. Искусство))
(TEKS-CENTRE Ltd,
Russian State University named after A.N. Kosygin (Technologies. Design. Art))
E-mail: info@teks-centre.ru, office@msta.ac.ru

В статье представлены результаты исследования по экспериментальному определению параметров закона долговечности нитей различной природы и структуры. Испытания с постоянной скоростью нагружения $\dot{\sigma}(t) = \text{const}$ проведены на современном лабораторном оборудовании. Для ряда нитей впервые получены параметры B и b степенного закона долговечности, что позволяет в дальнейшем произвести расчет их повреждаемости.

The paper presents the results of a study on experimental determination of the parameters of the durability of threads of different nature and structure. Test with constant loading speed conducted on the modern equipment. For a number of threads first obtained parameters B and b durability function, which allows further to calculate their damage.

Ключевые слова: долговечность нитей, арамидные нити, повреждаемость, испытания при постоянной скорости нагружения.

Keywords: durability of threads, aramid threads, damageability, tests at constant loading speed.

При использовании современного высокоскоростного preparatory и ткацкого оборудования для переработки нитей специального назначения, в том числе параарамидных нитей, отличающихся сверхвы-

сокими значениями прочности и модуля упругости при растяжении, но обладающих низкой прочностью при истирании, сжатии и изгибе, наблюдается снижение свойств нитей и обрывы отдельных волокон, что

приводит к ухудшению эксплуатационных характеристик ткани.

Для оценки ресурса нитей в реальных условиях нагружения необходимо провести расчет степени их повреждаемости согласно выбранному критерию длительной прочности. Для расчета повреждаемости нити в ткачестве нашли применение критерии Бейли и В.В. Москвитина [1]. В основу критерия Бейли положен линейный принцип суммирования повреждений. При условии непрерывного изменения напряжений предельное соотношение имеет вид:

$$\int_0^{t_*} \frac{dt}{t_0[\sigma(t)]} = 1, \quad (1)$$

где t_0 – время до разрушения при постоянных напряжениях, равных мгновенным значениям $\sigma(t)$.

Из соотношения (1) следует, что если сумма повреждений станет равной 1, то наступает предельное состояние, и в нашем случае процесс переработки нити на станке будет невозможен.

Одним из основных понятий теории развивающегося во времени феноменологического процесса разрушения является долговечность – время, необходимое для разрушения образца при заданном напряжении. Традиционно при испытаниях долговечности строят зависимость времени до разрушения от уровня приложенной нагрузки. Для аппроксимации данной зависимости используется степенная зависимость вида [2], [3]:

$$t_* = V\sigma_0^{-b}, \quad (2)$$

где t_* – время до разрушения, с; σ_0 – приложенное напряжение, кгс/мм²; V и b – параметры материала нити.

Принцип линейного суммирования повреждений верен не для всех материалов и не для всех условий нагружения. В.В. Москвитиным [2] были построены нелинейные соотношения вязкоупругости с учетом степени накопленных повреждений, уменьшающих эффективную площадь поперечного сечения образца. Приведем выражение, полученное В.В. Москвитиным и являющееся критерием длительной проч-

ности, определяющим время до разрушения t_* при заданном законе нагружения $\sigma(t)$ и степенном законе долговечности:

$$\frac{V^{1+m}}{1+m} = \int_0^{t_*} (t_* - \tau)^m \cdot \sigma^{b(1+m)}(\tau) d\tau. \quad (3)$$

Здесь m является показателем нелинейности, при $m = 0$ имеет место случай линейного суммирования по Бейли; повреждения, накопившиеся к моменту снятия нагрузки, сохраняются неизменными все последующее время. При $m < 0$ накопленные повреждения уменьшаются со временем, а при достаточно большом времени наблюдения исчезнут полностью; при $m > 0$ накопление повреждений продолжается даже после снятия нагрузки, то есть именно параметр m , вносящий нелинейность в модель Москвитина, позволяет учесть историю нагружения материала.

Очевидно, что расчет повреждаемости в соответствии с любым из выбранных критериев требует знания закона нагружения нити и параметров материала нити V и b . В работах проф. В.П. Щербакова [3...6] предложено определять параметры материала V и b из опытов с постоянной нагрузкой $\sigma(t) = \text{const}$. Для этого был разработан специальный стенд на базе разрывной машины FP-100/1. К нити с определенной скоростью прикладывается постоянная величина нагрузки и фиксируется время до разрушения нити. Параметры долговечности нити, как правило, определяются автором при трех уровнях заданной нагрузки, то есть имеем три значения постоянной нагрузки и три значения времени до разрыва нити. Тогда, используя метод наименьших квадратов, можно вычислить параметры долговечности исходя из следующего условия:

$$\sum_{i=1}^n (t_{*i} - V\sigma_{0i}^{-b})^2 \rightarrow \min. \quad (4)$$

В работе [6] приводятся значения параметров долговечности для некоторых арамидных нитей семейства Руслан. Однако полученные значения нуждаются в уточнении и проверке. Обратим внимание на одно из выявленных противоречий. К нити Руслан 29,4 текс, которая имеет разрывную

нагрузку 75,12 Н, по данным самих же авторов, прикладывается постоянная нагрузка 120, 100 и 80 Н. Видно, что приложенная постоянная нагрузка превышает прочность нити на 60, 33 и 6%, и при таком уровне нагрузки нить выдерживает 66, 126 и 279 с до разрыва, что уже вызывает серьезные сомнения. Параметры долговечности составили $V=7,53 \cdot 10^{13}$ и $b=3,57$.

Подтвердить или опровергнуть полученные авторами результаты не представляется возможным, так как разработанный стенд на базе разрывной машины FP-100/1 существует в единственном экземпляре. Поэтому в связи со сложившейся ситуацией было предложено определить параметры долговечности для различных видов нитей на современном приборе STATIGRAPH L фирмы TEXTECHNO. Прибор STATIGRAPH L позволяет создать условия испытаний с постоянной скоростью изменения нагрузки $\dot{\sigma}(t) = \text{const}$, а из работы [2] известно о допустимости определения параметров долговечности материала из опытов с постоянной скоростью нагружения, при этом не отдается предпочтение какому-либо из способов определения параметров долговечности.

Испытания предложено проводить таким образом, чтобы прочность нити определялась при 3...5 различных скоростях нагружения; при этом фиксируется время до разрушения и разрушающая нагрузка, а далее с использованием выражения (4) определяются параметры долговечности нити.

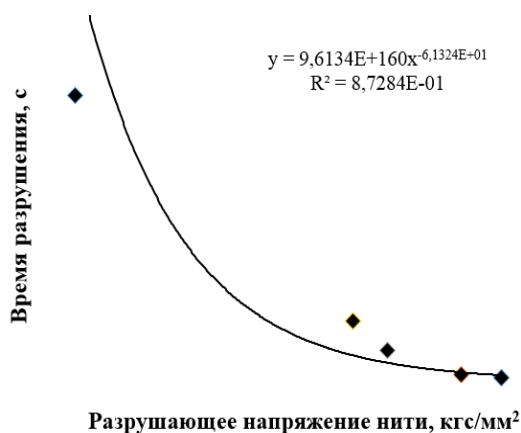


Рис. 1

Приведем конкретный пример. Нить арамидная Руслан 29,4 текс испытывалась при скоростях нагружения 10; 5; 1; 0,5 и 0,1 Н/с, среднее время до разрушения составило 8,8; 16,6; 9,5; 157,8 и 746,2 с при средней разрушающей нагрузке 8018,5; 7968,4; 7876,1; 7832,8 и 7484,8 сН соответственно. На рис. 1 представлена кривая долговечности для нити Руслан 29,4 текс. Параметры долговечности арамидной нити 29,4 текс составили $V=9,61 \cdot 10^{160}$ и $b=61,32$, что качественно и количественно расходится с результатами авторов [6].

Разница в значениях параметров V и b для арамидных нитей, полученных из опытов с постоянным напряжением $\sigma(t) = \text{const}$ на FP-100/1, и из опытов с постоянной скоростью нагружения $\dot{\sigma}(t) = \text{const}$, просто колоссальна, что вряд ли может быть объяснено только принятой методикой испытаний или выбранным методом вычисления параметров долговечности.

В табл. 1 представлены значения параметров долговечности для нитей различной структуры и природы, которые используются для изготовления технических тканей.

На рис. 2 (испытания арамидной нити Руслан 14,3 текс при различных скоростях нагружения: а) нагрузка – время; б) удлинение – время) и рис. 3 (испытания полиэфирной мононити 1,3 текс при различных скоростях нагружения: а) нагрузка – время; б) удлинение – время) для примера представлены экспериментальные кривые растяжения арамидной нити 14,3 текс и полиэфирной мононити 1,3 текс (\varnothing 34 мкм), записанные в координатах нагрузка – время и деформация – время при различных скоростях нагружения.

Обратим внимание на то, что при растяжении синтетических мононитей или металлических микроволокон наблюдается отклонение закона нагружения от прямой линии (рис. 3-а). Это связано с изменением (уменьшением/утонением) площади поперечного сечения мононити или проволоки вследствие образования "шейки". Для рассмотренных комплексных нитей или пряжи явление утонения поперечника не наблюдалось вплоть до разрушения.

Наименование нити	Линейная плотность, текс	Крутка, кр/м	Параметры материала нити		
			B	b	m
Мононити					
Сталь Ø 35 мкм	7,9	-	$5,262 \times 10^{17}$	8,03	-0,875
Мононить полиэфирная Ø 34 мкм	1,3	-	$4,732 \times 10^{20}$	11,55	-0,913
Комплексные нити					
Кевлар	22,0	0	$1,198 \times 10^{51}$	19,792	-0,949
Руслан	6,3	110	$1,18 \times 10^{93}$	36,658	-0,973
Руслан	14,3	110	$4,546 \times 10^{106}$	42,162	-0,976
Руслан	29,4	100	$9,613 \times 10^{160}$	61,324	-0,984
Нить углеродная	30,0	100	$6,131 \times 10^{24}$	12,531	-0,92
Нить полиамидная	5,0	200	$2,582 \times 10^{37}$	20,122	-0,95
Пряжа					
Пряжа метаарамидная	16,7	930	$2,338 \times 10^{18}$	12,532	-0,92
Пряжа х/б отбеленная	24,0	450	$5,213 \times 10^{32}$	25,128	-0,96
Пряжа полиамидоимидная	15,2	320	$8,194 \times 10^{12}$	10,866	-0,908

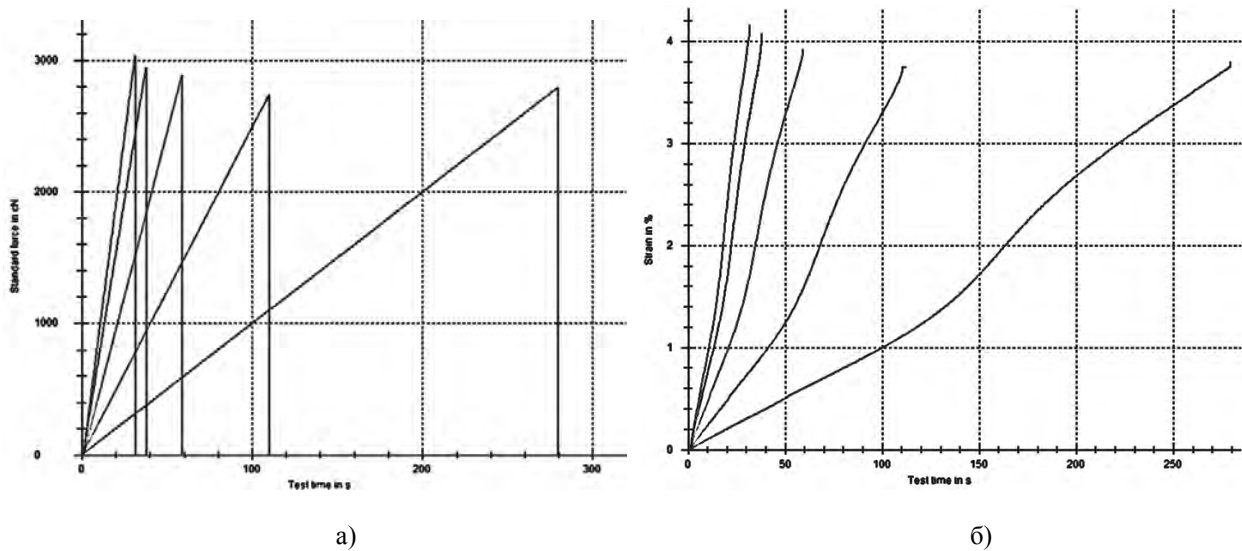


Рис. 2

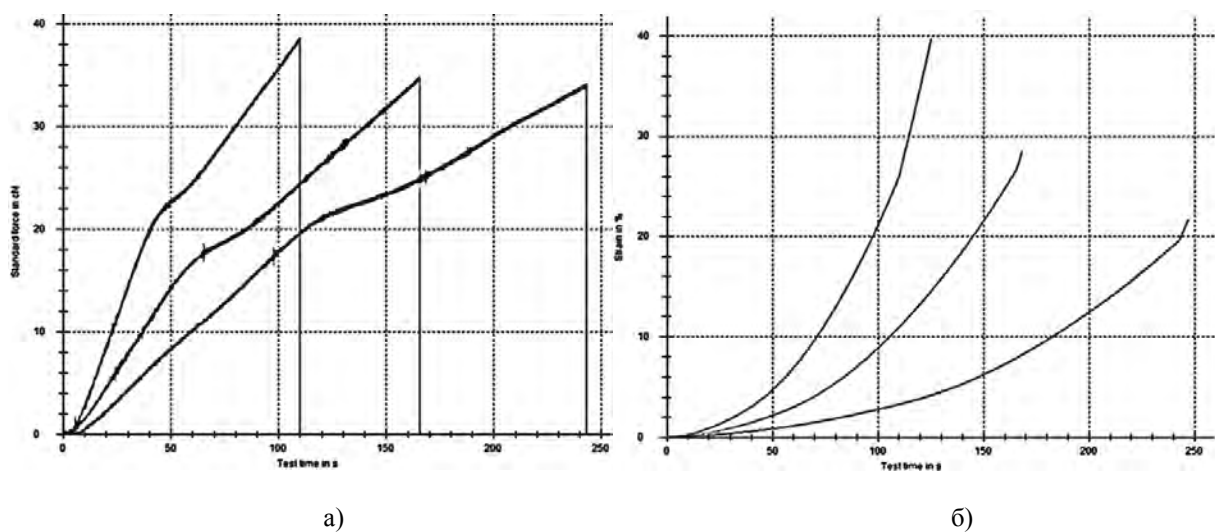


Рис. 3

Отметим, что преимущество настоящего исследования состоит в том, что испытания на приборе STATIGRAPH L при постоянной скорости нагружения $\dot{\sigma}(t) = \text{const}$ для всех исследуемых нитей были проведены в идентичных условиях, а это позволяет, по крайней мере, провести корректное качественное сравнение долговечности нитей различной природы и структуры.

На основании данных табл. 1 рассматривая величину параметра B , можно сделать вывод о том, что наибольшей долговечностью обладают арамидные нити Руслан 29,4 текс, далее в порядке убывания следуют нити Руслан 14,3 и 6,3 текс и нити Кевлар 22 текс. Наименьшей долговечностью отличается полиамидоимидная одиночная пряжа 15 текс, стальная микропротока $\varnothing 35$ мкм, метаарамидная одиночная пряжа 16,7 текс и полиэфирная монопить 1,3 текс, что вполне согласуется с практикой переработки указанных видов нитей в ткачестве.

Проведем элементарный расчет коэффициента повреждаемости η при условии нагружения нити постоянным напряжением:

$$\eta = \frac{t^{m+1} \sigma^{b(1+m)}}{B^{1+m}}, \quad (5)$$

где t – время, в течение которого происходит нагружение нити, с; σ – напряжение, возникающее в нити, кгс/мм².

Рассмотрим параарамидную нить 29,4 текс, полиамидную нить 5 текс и метаарамидную пряжу 16,7 текс. Время нагружения примем равным 800 с, что сопоставимо со временем нагружения на ткацком станке, зададим постоянное натяжение в 150 сН, тогда коэффициенты повреждаемости будут равны: 0,0215; 0,6706 и 0,4853 соответственно. Значит, что нить Руслан 29,4 текс исчерпала лишь малую часть своего ресурса, в то время как полиамидная нить 5 текс и метаарамидная пряжа 16,7 текс накопили значительные повреждения, что качественно согласуется с поведением нитей в процессе ткачества при заданных параметрах нагружения.

1. Предложен метод определения параметров степенного закона долговечности нитей специального назначения из опытов с постоянной скоростью нагружения. Испытания исследуемых нитей проведены в одинаковых условиях с использованием современного лабораторного оборудования, что позволяет провести корректное, качественное сравнение параметров долговечности нитей различной природы и структуры.

2. Установлено, что значения параметров B и b , полученные для арамидных нитей из опытов с постоянным напряжением и из опытов с постоянной скоростью нагружения, существенно различаются; при этом установлено, что параметры долговечности, известные из опытов с постоянной скоростью нагружения, согласуются с реальным поведением высокопрочных и высоко-модульных арамидных нитей в ткачестве.

3. Установлено, что повреждаемость параарамидных нитей семейства Руслан при условии постоянного напряжения оказывается на порядок меньше, чем повреждаемость традиционных видов нитей, что подтверждает целесообразность использования нитей Руслан при изготовлении самых ответственных изделий технического и специального назначения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Николаев С.Д., Мартынова А.А., Юхин С.С., Власова Н.А. Методы и средства исследования технологических процессов в ткачестве. – М.: МГТУ им. А.Н. Косыгина, 2003.
2. Москвитин В.В. Сопротивление вязкоупругих материалов (применительно к зарядам ракетных двигателей на твердом топливе). – М.: Изд-во Наука, Главная редакция физико-математической литературы, 1972.
3. Щербаков В.П., Скуланова Н.С. Основы теории деформирования и прочности текстильных материалов. – М.: МГТУ им. А. Н. Косыгина, 2008.
4. Щербаков В.П., Болотный А.П., Цыганов И.Б., Щербакова Т.И. Вычисление критериев длительной прочности при нагружении нити основы на ткацком станке // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2011, № 6. С. 129...135.
5. Щербаков В.П., Цыганов И.Б., Полякова Т.И., Болотный А.П. Экспериментальное определение и

расчет параметров долговечности в критериях прочности // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2010, № 2. С. 126...130.

6. Егоров Н.В., Щербakov В.П. Исследования свойств нитей Русар для изготовления технических тканей // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2010, № 6. С. 26...28.

REFERENCES

1. Nikolaev S.D., Martynova A.A., Juhin S.S., Vlasova N.A. Metody i sredstva issledovaniya tehnologicheskikh processov v tkachestve. – M.: MGTU im. A. N. Kosygina, 2003.

2. Moskvitin V.V. Soprotivlenie vjazkouprugih materialov (primenitel'no k zarjadam raketnyh dvigatelej na tverdom toplive). – M.: Izd-vo Nauka, Glavnaja redakcija fiziko-matematicheskoy literatury, 1972.

3. Shherbakov V.P., Skulanova N.S. Osnovy teorii deformirovaniya i prochnosti tekstil'nyh materialov. – M.: MGTU im. A. N. Kosygina, 2008.

4. Shherbakov V.P., Bolotnyj A.P., Cyganov I.B., Shherbakova T.I. Vychislenie kriteriev dlitel'noj prochnosti pri nagruzhении niti osnovy na tkackom stanke // Izv. vuzov. Tehnologija tekstil'noj promyshlennosti. – 2011, № 6. S. 129...135.

5. Shherbakov V.P., Cyganov I.B., Poljakova T.I., Bolotnyj A.P. Jeksperimental'noe opredelenie i raschet parametrov dolgovechnosti v kriterijah prochnosti // Izv. vuzov. Tehnologija tekstil'noj promyshlennosti. – 2010, № 2. S. 126...130.

6. Egorov N.V., Shherbakov V.P. Issledovaniya svojstv nitej Rusar dlja izgotovleniya tehnicheskikh tkanej // Izv. vuzov. Tehnologija tekstil'noj promyshlennosti. – 2010, № 6. S. 26...28.

Рекомендована кафедрой проектирования и художественного оформления текстильных изделий РГУ им. А.Н. Косыгина. Поступила 30.09.17.