

**ВЛИЯНИЕ МАСШТАБНОГО ФАКТОРА НА РЕЗУЛЬТАТЫ
РАСЧЕТОВ ПРОЧНОСТИ ХЛОПЧАТОБУМАЖНОЙ ПРЯЖИ**

**THE EFFECT OF THE SCALE FACTOR ON RESULTS
OF COTTON YARNS STRENGTH CALCULATION**

В.П.ЗИНОВЬЕВ, В.И. РУБЦОВ, Ю.С.ШУСТОВ, А.Н.ТИМОШЕНКО, И.В.ОЛЕНИНА
V.P. ZINOVEV, V.I. RUBTSOV, YU.S. SHUSTOV, A.N. TIMOSHENKO, I.V. OLENINA

(Государственный научный центр Федеральный медицинский
биофизический центр им. А.И. Бурназяна,
Российский государственный университет имени А.Н.Косыгина (Технологии. Дизайн. Искусство))

(A.I. Burnazyan Federal Medical Biophysical Center of the FMBA of Russia,
Russian State University named after A.N. Kosygin (Technologies. Design. Art))

E-mail: 1. zvp.2013@yandex.ru; 2. 6145293@mail.ru

В статье рассматривается влияние штапельной длины волокон хлопка на значение разрывной нагрузки кольцевой пряжи. На разрывную величину сильное влияние оказывает значение зажимной длины исследуемого образца. Определена степень влияния масштабного фактора на расчеты прочностных характеристик хлопчатобумажной пряжи. Для решения данного вопроса использовалась формула А.Н.Соловьёва, где вместо постоянного значения разрывной нагрузки волокна используется функция, которая описывает зависимость прочности волокон от их штапельной длины. Проведено сравнение расчетных по разрывной нагрузке кольцевой хлопчатобумажной пряжи кардной системы прядения, рассчитанной без учета функциональной зависимости прочности волокон от их длины и с применением такой функции. Установлено, что результаты полученные по формуле А.Н.Соловьёва с учетом функции учитывающей влияние длины волокон хлопка показали лучшее совпадение результатов.

The article discusses the effect of the staple length of cotton fibers on the value of the breaking load of annular yarn. The tensile value is strongly influenced by the value of the clamping length of the test sample. Degree of influence of scale factor on calculation of strength characteristics of cotton yarn is determined. To solve this issue, the formula of A.N. Soloviev was used, where instead of a constant value of the fold load of the fiber, a function is used that describes the dependence of the strength of the fibers on their staple length. A comparison of the circular cotton yarn of the carded spinning system calculated by the rupture load, calculated without taking into account the functional dependence of the strength of the fibers on their length and using such a function, was made. It was established that the results obtained by the formula of A.N. Soloviev, taking into account the function taking into account the influence of the length of cotton fibers, showed a better match of results.

Ключевые слова: штапельная длина волокна, зажимная длина, разрывная нагрузка, хлопчатобумажная пряжа, масштабный фактор, функциональная зависимость, формула проф. А.Н. Соловьёва.

Keywords: staple fiber length, clamping length, time-jerk load, cotton yarn, scale factor, functional-nal dependence, prof. formula A.N. Solovyova.

Испытательные центры, специализирующиеся на проведении испытаний текстильных материалов, в частности материалов для спецодежды, постоянно сталкиваются с требованиями стандартов, которые в некоторых случаях противоречат друг другу. Речь идет о требованиях, связанных с использованием при испытаниях материалов на разрывную нагрузку и удлинение, различной зажимной длины. Расстояние между зажимами колеблется от 10 до 450 мм [1...12]. В указанных источниках эта величина называется по-разному: "длина элементарного образца", "рабочая длина элементарного образца". Иногда можно встретить просто указание на "расстояние между зажимами".

Это обстоятельство заставляет задуматься о корректности применения той или иной величины зажимной длины при испытаниях, так как известно, что длина образца существенно влияет на результат испытаний. Это влияние называется *масштабным фактором* и описано во многих работах, посвященных различным теориям прочности, в частности статистическим теориям прочности материалов [8], [9].

Однако, при всем обилии научных работ, посвященных разрушению материалов под действием внешней нагрузки, математических моделей, описывающих процесс разрушения, доведенных до уровня применимости в инженерной практике, к сожалению, немного. Дело в том, что большинство описанных в перечисленных источниках теорий чрезвычайно сложны, требуют от пользователя высокого уровня математической, а иногда и химической подготовки, поэтому в своем большинстве оказываются невостребованными при проведении различного рода прочностных расчетов или испытаний.

Особый интерес в связи с этим представляют статистические модели прочности, которые никаким образом не связаны с физической природой разрушения, а описывают этот процесс исключительно с вероятностной точки зрения.

Наиболее простой и понятной статистической моделью прочности с использованием масштабного фактора является мо-

дель, предложенная А.М. Фрейденталем и подробно описанная в [1]. В работе описывается статистический подход к хрупкому разрушению.

Вопрос, связанный с проектированием пряжи, в частности пряжи кольцевого прядения по прочностным характеристикам, несмотря на его давнюю историю, до сих пор имеет некоторую незавершенность. В [2], [3] было получено соотношение, конкретизирующее зависимость величины разрывной нагрузки испытываемых образцов волокон хлопка от зажимной длины, имеющее следующий вид:

$$\bar{P}(\ell) = \bar{P}(\ell_0) \left(\frac{\ell_0}{\ell} \right)^\alpha, \quad (1)$$

где $\bar{P}(\ell)$ – средняя разрывная нагрузка волокон при произвольной зажимной длине ℓ ; $\bar{P}(\ell_0)$ – средняя разрывная нагрузка волокон при зажимной длине ℓ_0 , являющаяся рекомендуемой зажимной длиной при испытаниях; α – параметр распределения Вейбулла, характеризующий свойства материала образца и его структурные особенности.

Прологарифмировав выражение (1) и, решая полученное уравнение относительно $\frac{1}{\alpha}$, получим очень простое выражение:

$$\frac{1}{\alpha} = \frac{\ln \bar{P}(\ell) - \ln \bar{P}(\ell_0)}{\ln(\ell_0) - \ln(\ell)}. \quad (2)$$

Величина $1/\alpha$ рассчитывается, исходя из фактически полученных средних значений разрывной нагрузки, при двух различных значениях зажимной длины: ℓ и ℓ_0 . В испытаниях обычно принимают ℓ_0 равным стандартной величине, используемой в ГОСТ. Величина ℓ может быть выбрана произвольно, но в пределах возможностей испытательного оборудования.

Определим степень влияния масштабного фактора на некоторые результаты расчетов прочностных характеристик хлопчатобумажной пряжи.

Для этого воспользуемся известной формулой расчета прочности хлопчатобумажной пряжи профессора А.Н. Соловьева.

Опыт применения формулы в производственных целях и научных исследованиях показывает, несколько завышенные результаты, полученные с ее помощью, в связи с чем предлагается уточнить известное выражение, введя в формулу зависимость прочности волокон от зажимной длины, полученную в [2]. Там же было определено значение параметра распределения Вейбулла $\alpha = 4,16$, характеризующее свойства материала испытываемых волокон.

Формула содержит в качестве одного из факторов штапельную длину волокон $\ell_{ш}$. Однако ее влияние проявляется не в полной мере, так как определяющий фактор – прочность волокон, не зависит в формуле от длины волокон, используемых для производства пряжи. В работе [2] определена величина рабочей зоны волокон, на которой при растяжении пряжи развиваются нагрузки, превышающие разрывную нагрузку волокон. Величина этой зоны может быть определена, как $\ell_{ш} - 12$ мм. Именно это

$$P_{пр} = \frac{\bar{P}_B(\ell_0) \left(\frac{\ell_0}{\ell_{ш} - 12} \right)^{\frac{1}{\alpha}}}{T_B} \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a} \left(1 - 0,0375 \cdot \text{НО} - \frac{2,65}{\sqrt{\frac{T_{пр}}{T_B}}} \right) \left(1 - \frac{5}{\ell_{ш} - 12} \right) K \eta \mu, \frac{\text{сН}}{\text{текс}}, \quad (4)$$

где $P_{пр}$ – расчетное значение разрывной нагрузки пряжи; T_B – линейная плотность волокон хлопка; НО – коэффициент, характеризующий неравномерность пряжи при применении различных систем прядения; К

уточнение введено в формулу для коррекции разрывной нагрузки волокон, определенной при зажимной длине ℓ_0 , равное 10 мм.

Тогда в формуле вместо постоянного значения P_B необходимо использовать функцию, которая описывает зависимость прочности волокон в пряже от их штапельной длины.

Эта функция имеет вид:

$$P_B = \bar{P}_B(\ell_0) \left(\frac{\ell_0}{\ell_{ш} - 12} \right)^{\frac{1}{\alpha}}, \quad (3)$$

где P_B – уточненное значение разрывной нагрузки волокон хлопка, сН, для использования в формуле проф. А.Н. Соловьева; $\bar{P}_B(\ell_0)$ – среднее значение разрывной нагрузки волокон хлопка, полученное в результате испытаний волокон при зажимной длине ℓ_0 ; $\ell_{ш}$ – штапельная длина волокон, мм; α – параметр распределения Вейбулла.

Тогда формула проф. А.Н. Соловьева приобретает вид:

– поправочный коэффициент на фактическую крутку пряжи; η, μ – коэффициенты, характеризующие наладку (качество работы) технологического оборудования. Эти величины приняты равными 1.

Т а б л и ц а 1

Пряжа 1			Пряжа 2			Пряжа 3			Пряжа 4		
Т _{пр} = 29,0 текс			Т _{пр} = 36,0 текс			Т _{пр} = 18,5 текс			Т _{пр} = 11,8 текс		
Т _в = 0,15 текс			Т _в = 0,16 текс			Т _в = 0,14 текс			Т _в = 0,12 текс		
P _в = 4,2 сН			P _в = 4,5 сН			P _в = 4,3 сН			P _в = 3,8 сН		
НО = 4,5			НО = 4,5			НО = 4,5			НО = 4,5		
ℓ _ш = 36 мм			ℓ _ш = 34 мм			ℓ _ш = 35 мм			ℓ _ш = 37 мм		
α _ф = 32			α _ф = 32			α _ф = 32			α _ф = 32		
η = 1			η = 1			η = 1			η = 1		
μ = 1			μ = 1			μ = 1			μ = 1		
ℓ _ш = 10 мм			ℓ _о = 10 мм			ℓ _о = 10 мм			ℓ _о = 10 мм		
По справочнику для второго сорта, сН/текс, не менее 11,4			По справочнику для второго сорта, сН/текс, не менее 11,2			По справочнику для второго сорта, сН/текс, не менее 11,2			По справочнику для второго сорта, сН/текс, не менее 11,0		
P _{факт} , сН/текс	P _в = f(l _ш), сН/текс	P _в = const, сН/текс	P _{факт} , сН/текс	P _в = f(l _ш), сН/текс	P _в = const, сН/текс	P _{факт} , сН/текс	P _в = f(l _ш), сН/текс	P _в = const, сН/текс	P _{факт} , сН/текс	P _в = f(l _ш), сН/текс	P _в = const, сН/текс
11,52	11,39	14,06	11,26	11,30	13,66	11,35	11,21	13,68	11,18	11,40	14,22

Пример расчета с уточненным значением прочности волокон приведен ниже.

В работе было исследовано 4 вида кольцевой пряжи, для которых в табл. 1 приведены фактические и расчетные значения разрывной нагрузки, а также нормированные значения прочности основной пряжи, регламентируемые справочником по хлопчаточасти.

Сравнительные расчетные данные по разрывной нагрузке кольцевой Х/Б пряжи кардной системы прядения, рассчитанные без учета функциональной зависимости прочности волокон от их длины и с применением такой функции.

Для наглядности были построены графики зависимости разрывной нагрузки хлопчатобумажной пряжи от величины штапельной длины в наиболее широко используемом диапазоне от 30 до 40 мм.

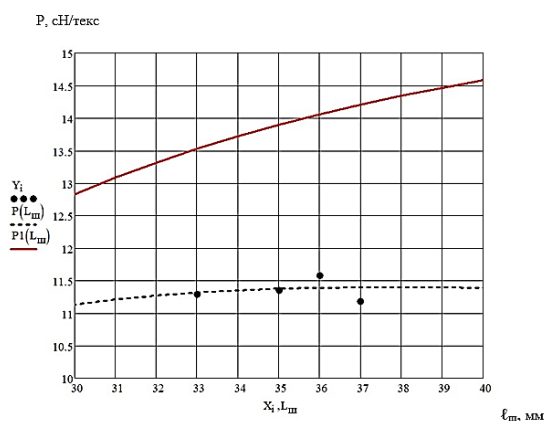


Рис. 1

На рис. 1 (графики изменения расчетных значений разрывной нагрузки хлопчатобумажной пряжи в зависимости от штапельной длины волокон) точками отмечены фактические значения разрывной нагрузки пряжи, полученные в результате испытаний образцов пряжи со свойствами волокон, указанными в табл. 1. Из рисунка видно, что верхний график, построенный по формуле проф. А.Н. Соловьева, имеет значительные отличия от аналогичного графика (пунктир), построенного по той же формуле, но с учетом функциональной зависимости разрывной нагрузки волокон от их длины. Во втором случае пунктирный

график имеет лучшие совпадения с фактическими значениями разрывной нагрузки, что позволяет сделать вывод не только о значимости влияния длины волокон на прочность пряжи, но и на точность описания этого влияния предложенной функциональной зависимостью, учитывающей масштабный фактор.

Особенно разница сказывается в области больших значений штапельной длины, где прочность пряжи практически перестает возрастать из-за превалирования масштабного эффекта в общем влиянии всех остальных факторов, влияющих на разрывную нагрузку пряжи.

ВЫВОДЫ

1. Предложена функция, учитывающая влияние длины волокон хлопка, используемых для производства пряжи, на прочность самих волокон для использования в формуле проф. А.Н. Соловьева.

2. Проведен сравнительный эксперимент по испытанию прочностных свойств различных образцов хлопчатобумажной пряжи для получения фактических значений.

3. Сравнение результатов расчетов разрывной нагрузки пряжи, проведенных по формуле проф. А.Н. Соловьева, с фактическими значениями, полученными в результате испытаний, без функции влияния и с применением такой функции показало лучшее совпадение результатов при использовании предложенной функциональной зависимости.

ЛИТЕРАТУРА

1. Либовиц Г. Разрушение. Том 2. Математические основы теории разрушения. – М.: Мир, 1975.
2. Зиновьев В.П. Оптимизация состава и структуры пряжи кольцевого способа прядения с целью рационального использования сырья: Дис...канд. техн. наук, – М.: МТИ, 1985.
3. Щербаков В.П., Зиновьев В.П. Зависимость разрывной нагрузки волокон хлопка от зажимной длины // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 1988, № 2. С.35...38.
4. Васильева О.В., Кучер В.И., Андреев А.С., Перепелкин К.Е. Зависимость прочности химических комплексных нитей от зажимной длины // Изв. ву-

зов. Технология текстильной промышленности. – 1986, №6. С.6...9.

5. Лугерт Е.В., Иванов М.Н., Перепелкин К.Е. Влияние длины комплексной нити на механические разрушения при растяжении // Химические волокна. – 1980, №3. С.52...53.

6. Макаров В.Г., Skorobogatov И.А., Устимова А.П. Масштабный эффект прочности углеродных нитей. // Химические волокна. – 1986, №6. С.6...9.

7. Кузнецов А.А. Вероятностная модель комплексной остаточной циклической деформации при проведении многоцикловых испытаний на растяжение // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2007, №1. С.23...27.

8. Щербakov В.П., Скуланова Н.С., Халезов С.Л., Цветкова А.Е., Голайдо С.А. Изменения и дополнения в прочностных расчетах ткани с учетом масштабного эффекта и неравномерности нитей по прочности // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2019, №2. С. 186...191.

9. Севостьянов П.А., Самойлова Т.А., Тихомирова М.Л. Компьютерное моделирование сил трения между волокнами и нитями в волокнистых материалах с учетом их статистических особенностей // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2019, №5. С. 209...212.

10. Hearle J.W.S., Grosberg P., Backer S. Structural Mechanics of Fibers, Yarns and Fabrics. – New York, 1969.

11. Kleijnen J. Statistical techniques in simulation. Volumes I and II. – Marcel. Dekker Inc., New York, 1974-1975.

12. Mechanical properties of flax fibers and their composites by Edgars // Sprniš Division of Polymer Engineering Department of Applied Physics and Mechanical Engineering / Luleå University of Technology. – Luleå, SWEDEN, 2009. P. 204.

REFERENCES

1. Libovits G. Razrushenie. Tom 2. Matematicheskie osnovy teorii razrusheniya. – M.: Mir, 1975.

2. Zinov'ev V.P. Optimizatsiya sostava i struktury pryazhi kol'tsevogo sposoba pryadeniya s tsel'yu ratsional'nogo ispol'zovaniya syr'ya: Dis...kand. tekhn. nauk, – M.: MTI, 1985.

3. Shcherbakov V.P., Zinov'ev V.P. Zavisimost' razryvnoy nagruzki volokon khlopka ot zazhimnoy dliny // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. – 1988, № 2. S.35...38.

4. Vasil'eva O.V., Kucher V.I., Andreev A.S., Perepelkin K.E. Zavisimost' prochnosti khimicheskikh kompleksnykh nitey ot zazhimnoy dliny // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. – 1986, №6. S.6...9.

5. Lugert E.V., Ivanov M.N., Perepelkin K.E. Vliyanie dliny kompleksnoy niti na mekhanicheskie razrusheniya pri rastyazhenii // Khimicheskie volokna. – 1980, №3. S.52...53.

6. Makarov V.G., Skorobogatov I.A., Ustimova A.P. Masshtabnyy effekt prochnosti uglerodnykh nitey. // Khimicheskie volokna. – 1986, №6. S.6...9.

7. Kuznetsov A.A. Veroyatnostnaya model' kompleksnoy ostatochnoy tsiklicheskoj deformatsii pri provedenii mnogotsiklovykh ispytaniy na rastyazhenie // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. – 2007, №1. S.23...27.

8. Shcherbakov V.P., Skulanova N.S., Khalezov S.L., Tsvetkova A.E., Golaydo S.A. Izmeneniya i dopolneniya v prochnostnykh raschetakh tkani s uchetom masshtabnogo effekta i neravnomernosti nitey po prochnosti // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. – 2019, №2. S. 186...191.

9. Sevost'yanov P.A., Samoylova T.A., Tikhomirova M.L. Komp'yuternoe modelirovanie sil treniya mezhdru voloknami i nityami v voloknistykh materialakh s uchetom ikh statisticheskikh osobennostey // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. – 2019, №5. S. 209...212.

10. Hearle J.W.S., Grosberg P., Backer S. Structural Mechanics of Fibers, Yarns and Fabrics. – New York, 1969.

11. Kleijnen J. Statistical techniques in simulation. Volumes I and II. – Marcel. Dekker Inc., New York, 1974-1975.

12. Mechanical properties of flax fibers and their composites by Edgars // Sprniš Division of Polymer Engineering Department of Applied Physics and Mechanical Engineering / Luleå University of Technology. – Luleå, SWEDEN, 2009. P. 204.

Рекомендована кафедрой материаловедения и товарной экспертизы РГУ имени А.Н. Косыгина. Поступила 22.02.22.