

**ВЛИЯНИЕ ЗАЖИМНОЙ ДЛИНЫ ОБРАЗЦА
НА РЕЗУЛЬТАТЫ ПРОЧНОСТНЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ
ХЛОПЧАТОБУМАЖНЫХ ТКАНЕЙ**

**EFFECT OF CLAMPING LENGTH OF SAMPLE
ON THE RESULTS OF COTTON FABRICS
STRENGTH INDICES**

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,
A.N. Kosygin Russian State University (Technologies. Design. Art))

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

В статье рассмотрено влияние зажимной длины образцов тканей при испытаниях их на разрыв на результаты испытаний. Для обеспечения идентичности рассматриваемых образцов, необходимо иметь дело не со средней разрывной нагрузкой, а со средней удельной работой разрыва, как интегральной оценкой прочностных свойств рассматриваемых образцов. Проведено сравнение результатов влияния масштабного фактора на удельную работу разрыва и усилия при разрыве хлопчатобумажных тканей.

The article considers the effect of clamping length of fabric samples on results of their strength tests. To ensure the identity of the samples under consideration, it is necessary to deal not with the average breaking load, but with the average unit-breaking toughness as an integral estimation of strength properties of the samples under consideration. The results of the scale factor effect on unit-breaking toughness were compared with an effort at breaking of cotton fabrics.

Ключевые слова: масштабный коэффициент, средняя разрывная нагрузка, удельная работа разрыва, хлопчатобумажная ткань.

Keywords: scale factor, average breaking load, unit-breaking toughness, cotton fabric.

Настоящее исследование посвящено выявлению возможности применения статистической модели А.М. Фрейденталю к плоским текстильным материалам, ярким примером которых служат хлопчатобумажные ткани. Краткая статистическая теория хрупкого разрушения, наиболее характерной чертой, которого является низкая воспроизводимость результатов испытаний, описана Фрейденталем в [1].

Если считать, что попадание в объем V единственной неоднородности критической интенсивности приводит к разрушению этого объема, то вероятность разрушения $P_F(V)$ может быть выражена как функция, экспоненциально зависящая от объема (площади или длины)

$$P_F(V) = 1 - P^*(V) = 1 - e^{-cV}. \quad (1)$$

Из выражения (1) видно, что при одной и той же концентрации неоднородностей с вероятностью разрушения быстро возрастает с увеличением объема.

Уравнение (1) имеет совершенно общий характер и не зависит от каких бы то ни было допущений относительно физической природы неоднородностей, поскольку оно было получено на основе чисто вероятностных соображений. Его вывод основывался на допущении, что появление всего одной критической неоднородности в объеме V приводит к разрушению испытываемого образца.

Следуя общей закономерности (1), говорящей о быстром росте вероятности разрушения образца с ростом его размеров, в [2], [3] было получено соотношение, конкретизирующее зависимость величины разрывной нагрузки испытываемых образцов от зажимной длины, имеющее следующий вид:

$$\bar{P}(\ell) = \bar{P}(\ell_0) \left(\frac{\ell_0}{\ell} \right)^{\frac{1}{\alpha}}, \quad (2)$$

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

Все вышесказанное относится к "номинально идентичным образцам". То есть образцам одинакового поперечного сечения, где рост объема образца происходит за счет увеличения одного линейного измерения, совпадающего с направлением действия разрушающей нагрузки [4...7].

Действительно, если сравнивать между собой образцы, имеющие существенно различные все размеры друг от друга, то, скажем, при увеличении объема образца и по длине и по толщине мы не сможем заметить эффекта, описываемого формулой (2). Однако при испытаниях текстильных материалов приходится иметь дело с далеко не идентичными образцами в силу их большой

природной неоднородности, а также различными размерами образцов, регламентируемыми соответствующими стандартами. В этом случае, как считают авторы, наиболее подходящим вариантом, который приближает испытателя к идентичности образцов, необходимо иметь дело не со средней разрывной нагрузкой образцов, а со средней удельной работой разрыва, как интегральной оценкой прочностных свойств образцов, учитывающей их неравномерность по поперечному сечению и вероятностному распределению слабых мест внутри образца. Условия проведения испытаний при этом остаются без изменения. Тогда зависимость (2) примет вид:

$$\bar{A}_{уд}(\ell) = \bar{A}_{уд}(\ell_0) \left(\frac{\ell_0}{\ell} \right)^{\frac{1}{\alpha}}, \quad (3)$$

где $\bar{A}_{уд}(\ell)$ – среднее значение удельной работы разрыва образцов при зажимной длине ℓ ; $\bar{A}_{уд}(\ell_0)$ – среднее значение удельной работы разрыва образцов при зажимной длине ℓ_0 .

Определение параметра $\frac{1}{\alpha}$ осуществляется по формуле:

$$\frac{1}{\alpha} = \frac{\ln \bar{A}_{уд}(\ell) - \ln \bar{A}_{уд}(\ell_0)}{\ln(\ell_0) - \ln(\ell)}. \quad (4)$$

При таком подходе параметр α имеет значения более близкие к значениям, характеризующим непосредственно свойства материала и конструкции образцов, так как в этом случае исключается влияние их геометрической и структурной неравномерности. Все неоднородности в этом случае учитываются "автоматически" величиной энергии, затрачиваемой на разрушение.

Кроме того, поскольку удельная работа разрыва определяется как отношение абсолютного значения работы разрыва к рабочему объему образца, то этот показатель хорошо подходит для корректного сравнения испытываемых материалов с существенно различными свойствами, например такими как, молескин, марля, бязь.

Для решения поставленной задачи были выбраны два образца тканей, широко используемые для изготовления спецодежды, и проведены испытания этих тканей по основе и утку для определения их разрывных нагрузок и разрывного удлинения при различных значениях зажимной длины, устанавливаемой на испытательной разрывной машине.

Такие испытания и расчеты были проведены для уровней варьирования зажимной

длины 50, 100, 200 и 300 мм для основы и утка ткани молескин хлопчатобумажная 100%, и 20, 100, 200 и 300 мм для основы и утка ткани бязь хлопчатобумажная 100%. Данные для расчета снимались с диаграмм растяжения образцов и определялось среднее из 5 повторных испытаний на каждом уровне варьирования. В табл. 1 приведены средние значения испытаний, являющиеся исходными данными для дальнейших расчетов.

Т а б л и ц а 1

Ткань	Зажимная длина, мм	Разрывная нагрузка, Н		Разрывное удлинение, мм	
		основа	уток	основа	уток
Молескин	50	700	1009	4,00	17,0
	100	655	960	6,50	26,0
	200	584	725	11,6	45,0
	300	570	607	15,4	58,0
Бязь	20	425	286	4,00	6,32
	100	457	266	10,0	19,4
	200	381	225	18,2	35,1
	300	369	201	26,6	57,7

Кроме того, для кусочно-линейной аппроксимации диаграмм растяжения с целью дальнейшего расчета удельной работы разрыва с каждой диаграммы было снято по 6 значений нагрузки в соответствии с абсолютными значениями деформации.

Значения удельной работы разрыва для каждого из образцов исследованных тканей, сведены в табл. 2.

Т а б л и ц а 2

Наименование образца	Зажимная длина, мм	Удельная работа разрыва, мДж/мм ³	
		основа	уток
Молескин	50	24,90	57,37
	100	17,11	36,66
	200	12,89	20,34
	300	11,17	14,26
Бязь	20	19,3	12,8
	100	8,85	7,32
	200	7,11	6,83
	300	6,03	5,50

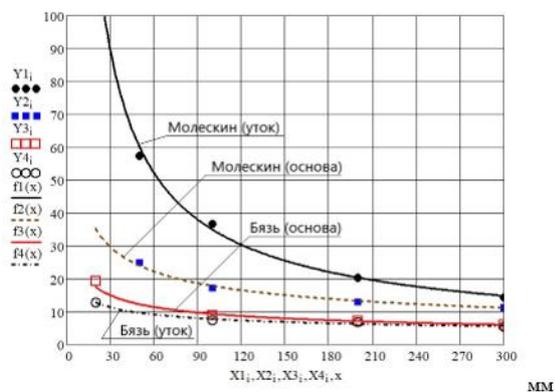


Рис. 1

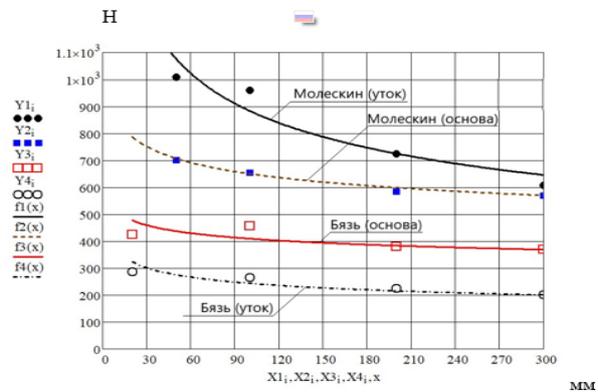


Рис.2

Графическая интерпретация приведенных в табл. 2 результатов представлена на рис. 1 и дает наглядное представление о степени влияния масштабного фактора на прочностные свойства испытанных образцов тканей, оцененных удельной работой разрыва. Степень влияния масштабного фактора на прочность образцов без приведения их к "идентичности" представлена на рис. 2.

Сравнение качества описания влияния масштабного фактора на результаты испытаний тканей с помощью математических моделей (2) и (3) осуществлялось сопоставлением значений критериев адекватности в случае расчетов, получаемых по двум указанным формулам. То есть в случае без приближения к идентичности испытываемых образцов (2) и с проведением такого приближения (3).

Адекватность выбранной аппроксимирующей функциональной зависимости экспериментальным данным оценивалась с использованием критерия Фишера [4], расчетное значение которого определялось по формуле

$$F_R = \frac{S_{(2)}^2 \{Y\}}{S_{(1)}^2 \{Y\}}, \quad (5)$$

где $S_{(1)}^2 \{Y\}$ – дисперсия воспроизводимости, характеризующая средний разброс значений выходного параметра относительно его средних значений при каждом u -м уровне, т.е. ошибку опытов в эксперименте. Определяется по формуле

$$S_{(1)}^2 \{Y\} = \frac{1}{N(m-1)} \sum_{u=1}^N \sum_{v=1}^m (Y_{uv} - \bar{Y}_u)^2, \quad (6)$$

где N – число уровней варьирования фактора (зажимной длины); m – число повторных опытов на каждом уровне варьирования; $S_{(2)}^2 \{Y\}$ – дисперсия адекватности, ха-

рактеризующая рассеивание средних экспериментальных значений \bar{Y}_u относительно значений аппроксимирующей функции на каждом u -м уровне. Рассчитывается по формуле:

$$S_{(2)}^2 \{Y\} = \frac{m}{N-2} \sum_{u=1}^N (Y_{Ru} - \bar{Y}_u)^2. \quad (7)$$

Из двух сравниваемых дисперсий в числителе должна быть всегда большая дисперсия, чтобы значение критерия было больше 1, а числа степеней свободы для них с целью выбора табличного значения критерия F_t , соответственно равны:

$f \{S_{(1)}^2\} = N(m-1) = 16$ – число степеней свободы дисперсии воспроизводимости;

$f \{S_{(2)}^2\} = N-2 = 2$ – число степеней свободы дисперсии адекватности.

Из таблицы значений критерия Фишера для доверительной вероятности $P_D = 0,95$ и определенных выше степеней свободы дисперсий находим:

- если дисперсия адекватности больше дисперсии воспроизводимости, то $F_t = 3,63$;
- если дисперсия адекватности меньше дисперсии воспроизводимости, то $F_t = 19,43$.

Если расчетное значение критерия $F_R < F_t$, то гипотеза об адекватности, примененной для описания экспериментальных данных математической модели, не отвергается. В противном случае эта статистическая гипотеза должна быть отвергнута.

Анализ рис. 1 и 2 наглядно показывает, что статистическая модель прочности (3), описывающая зависимость удельной работы разрыва в зависимости от величины зажимной длины образца, значительно лучше описывает поведение испытываемого материала, чем аналогичная зависимость (2), но примененная непосредственно к полученным в результате испытаний значениям разрывной нагрузки. Этот факт подтверждается данными табл. 3.

Т а б л и ц а 3

		Разрывная нагрузка				Удельная работа разрыва				
		$I_{\text{зак}}$	$(Y_{uv} - \bar{Y}_u)^2$	$(Y_{Ru} - \bar{Y}_u)^2$	F_R	F_t	$(Y_{uv} - \bar{Y}_u)^2$	$(Y_{Ru} - \bar{Y}_u)^2$	F_R	F_t
Молескин	Основа	50	346	36	2,56	3,63	5,7	0,84	3,50	3,63
		100	983	25			3,9	0,58		
		200	508	196			4,6	0,16		
		300	2187	0			3,8	0		
		$s^2\{Y\}$	$s_{(1)}^2\{Y\}=254$	$s_{(2)}^2\{Y\}=642$			$s_{(1)}^2\{Y\}=1,125$	$s_{(2)}^2\{Y\}=3,95$		
	Уток	50	4096	4624	14,4	3,63	46,8	7,18	3,39	3,63
		100	10242	5776			23,7	3,24		
		200	2536	0			34,4	0		
		300	3427	1521			21,3	0,25		
		$s^2\{Y\}$	$s_{(1)}^2\{Y\}=1269$	$s_{(2)}^2\{Y\}=18252$			$s_{(1)}^2\{Y\}=7,87$	$s_{(2)}^2\{Y\}=26,7$		
Бязь	Основа	50	213	2704	247	3,63	2,5	0,19	1,29	3,63
		100	121	2304			2,2	0,14		
		200	253	4			2,7	0		
		300	253	0			2,8	0		
		$s^2\{Y\}$	$s_{(1)}^2\{Y\}=52,5$	$s_{(2)}^2\{Y\}=13000$			$s_{(1)}^2\{Y\}=0,637$	$s_{(2)}^2\{Y\}=0,825$		
	Уток	50	63	1369	78	3,63	2,1	0	1,40	3,63
		100	121	484			1,8	0,185		
		200	625	81			1,9	0,084		
		300	183	0			1,8	0		
		$s^2\{Y\}$	$s_{(1)}^2\{Y\}=62$	$s_{(2)}^2\{Y\}=4835$			$s_{(1)}^2\{Y\}=0,479$	$s_{(2)}^2\{Y\}=0,672$		

Действительно, статистическая модель (2) не может качественно описать зависимость прочности образца ткани от его размеров, что подтверждается расчетом адекватности аппроксимирующей функции. Практически на всех уровнях испытаний расчетное значение критерия Фишера больше табличного.

ВЫВОДЫ

1. Применен энергетический подход для приведения существенно различающихся по геометрии образцов к идентичности для вероятностной оценки влияния масштабного фактора на результаты испытаний.

2. Сравнение результатов испытаний по влиянию масштабного фактора на разрывную нагрузку хлопчатобумажных тканей, приведенных к идентичности образцов с помощью энергетического анализа прочности, и не приведенных показало, что более точно описывает влияние масштабного фактора метод расчета с энергетически приведенными к идентичности образцами.

3. Расчет удельной разрывной нагрузки образцов по результатам испытаний продемонстрировал возможность сравнения между собой по прочности существенно от-

личающихся друг от друга материалов, что может быть использовано для разработки нормативов прочности в новых стандартах.

4. Результаты проведенного эксперимента показали, что влияние масштабного фактора даже при условии изготовления тканей из сырья одного вида, может существенно отличаться по своей значимости, что говорит о необходимости проведения специальных исследований, направленных на объяснение причин этого феномена.

ЛИТЕРАТУРА

1. Либовиц Г. Разрушение. – Т. 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 27...29.
4. Севостьянов А.Г. Методы и средства исследования механико-технологических процессов текстильной промышленности. – М.: Легкая индустрия, 1980.
5. Шеромова И.А., Старкова Г.П., Железняков А.С. Исследование напряженно-деформационного состояния волокнистых материалов // Изв. вузов.

Технология текстильной промышленности. – 2008, №3. С. 21...23

6. Шаломин О.А., Матрохин А.Ю., Рыбакова Д.А., Гусев Б.Н. Разработка структурной схемы проектирования качества текстильных изделий. // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2012, №4. С. 40...45.

7. Севостьянов П.А. Компьютерное и математическое моделирование текстильных материалов – М.: МГУДТ, 2013.

REFERENCES

1. Liebowitz G. Destruction. - V. 2. Mathematical foundations of the theory of destruction. – М.: Mir, 1975.

2. Zinoviev V.P. Optimization of the composition and structure of yarn of the ring spinning method in order to rationally use raw materials: Dis...cand. tech. Sciences. – М.: МТИ, 1985.

3. Shcherbakov V.P., Zinoviev V.P. Dependence of the breaking load of cotton fibers on the clamping

length. // Izv. universities. Technology of the textile industry. - 1988, No. 2. From 27...29.

4. Sevostyanov A.G. Methods and means of studying the mechanical and technological processes of the textile industry. - М.: Light Industry, 1980.

5. Sheromova I.A., Starkova G.P., Zheleznyakov A.S. Study of the stress-strain state of fibrous materials // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii. Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti.. - 2008, No. 3. S. 21...23

6. Shalomin O.A., Matrokhin A.Yu., Rybakova D.A., Gusev B.N. Development of a block diagram for designing the quality of textile products. // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii. Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti.- 2012, No. 4. S. 40...45.

7. Sevostyanov P.A. Computer and mathematical modeling of textile materials - М.: МГУДТ, 2013.

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