

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА КАЧЕСТВА И НАДЕЖНОСТИ ТКАНЕЙ ДЛЯ СПЕЦОДЕЖДЫ

С.М. КИРЮХИН, Д.В. КУРОЕДОВА, О.Н. ДЕНИСОВА, С.Ф. ЛИТОВЧЕНКО

**(Московский государственный текстильный университет им. А.Н. Косыгина,
Российский заочный институт текстильной и легкой промышленности)**

Качество и надежность – это основные требования, которые предъявляет потребитель или заказчик к любой продукции, в том числе и к текстильным изделиям. Особенно это важно для тканей, используемых для изготовления специальной одежды [1].

Необходимость сравнительной оценки качества и надежности может быть обусловлена многими причинами. Например, при выборе лучшего варианта одноименной продукции, оценке новой технологии ее изготовления, установлении цены на изделия и т.п.

Качество – это совокупность свойств продукции (материала), обуславливающих ее пригодность удовлетворять определенные потребности в соответствии с ее назначением [2]. Оценка качества проводится с использованием определяющих показателей дифференциальными и комплексными методами. В первом случае используются единичные показатели, во втором – комплексные [3].

Под надежностью обычно понимают способность материала (изделия) выполнять заданные функции, сохраняя свои показатели в заданных пределах в течение требуемой наработки. Последняя может выражаться в различных единицах, в том числе и в единицах измеряемых показателей качества текстильных материалов при их лабораторных испытаниях [3].

Считают [4], что надежность – это качество, развернутое во времени. С учетом этого и применительно к особенностям испытания тканей в лабораторных условиях можно считать, что надежность – изменение исследуемого показателя в различных режимах, или надежность – это изучаемый показатель качества, развернутый в заданном режиме испытания [5]. Если при ис-

пытании материал доводится до разрушения, то для каждого заданного режима можно оценить вероятность такого события. Следовательно, при лабораторных испытаниях механических свойств тканей оценка надежности будет сводиться к определению вероятностных характеристик достижения ими определенных состояний. Последнее позволяет оценивать качество исследуемых тканей в реальных условиях эксплуатации, когда нагрузки и другие воздействия на материал существенно отличаются от тех, при которых ткань доводится до разрушения в условиях лабораторных испытаний.

Целью данной работы является разработка методики сравнительной оценки качества и надежности тканей для спецодежды.

В качестве объектов исследования были выбраны хлопчатобумажная ткань и смесовые ткани полиэфир – хлопок, используемые при изготовлении специальной одежды для защиты от общих производственных загрязнений и механических воздействий в различных отраслях промышленности. Считают, что оптимальным соотношением волокон в тканях являются 65% полиэфира и 35% хлопка. Однако с учетом специфики производства, где используется специальная одежда из этих тканей, волокнистый состав может меняться от 100% полиэфира (чистые производства), 75 или 100% хлопка (для металлургических производств), 50 или 60% хлопка (пищевая промышленность) и т.д. [6]. Поэтому были выбраны ткани с различным содержанием полиэфирных и хлопковых волокон. Общая характеристика этих тканей дана в табл. 1.

Таблица 1

Наименование показателя	№ образца			
	1	2	3	4
Сырьевой состав, %	100% хлопок	80% хлопок, 20% ПЭ	60% хлопок, 40% ПЭ	50% хлопок, 50% ПЭ
Ширина, см	132	152	108	148
Толщина, мм	0,70	0,49	0,40	0,34
Число нитей на 10 см	основа	360	420	400
	уток	180	260	220
Линейная плотность нитей, текс	основа	53,5	34,6	25,2
	уток	73,2	54	52,6
Поверхностная плотность, г/м ²	324	285	216	264

Для оценки качества и надежности исследуемых тканей были выбраны определяющие показатели: разрывная нагрузка, прочность при раздирании и стойкость к истиранию по плоскости. Экспертный оп-

рос из 10 показателей качества тканей для спецодежды позволил оценить эти показатели как наиболее значимые. Результаты экспертного опроса приведены в табл. 2.

Таблица 2

Эксперты m	Ранги показателей										Σ	T_j
	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	X_7	X_8	X_9	X_{10}		
1	9	10	2,5	4,5	6	1	8	2,5	4,5	7	55	1
2	10	9	4	3	1,5	1,5	8	5	6	7	55	0,5
3	6	10	2	1	7	3	8	4	5	9	55	0
4	6,5	6,5	4	1,5	10	1,5	9	8	3	5	55	1
5	3,5	9	6	1,5	5	1,5	8	3,5	7	10	55	1
6	5	8	1,5	1,5	6	3	9	4	7	10	55	0,5
7	7	8	2,5	1	5	2,5	9	4	6	10	55	0,5
8	8	9	3	1,5	6	1,5	7	5	4	10	55	0,5
S_i	55	69,5	25,5	15,5	46,5	15,5	66	36	42,5	68	$\bar{S} = 44$	5
$(S_i - \bar{S})$	11	25,5	-18,5	-28,5	2,5	-28,5	22	-8	-1,5	24	-	-
$(S_i - \bar{S})^2$	121	650,25	342,25	812,25	6,25	812,25	484	64	2,25	576	$\Sigma = 3870,5$	
z_i	0,07	0,03	0,015	0,18	0,09	0,18	0,04	0,12	0,1	0,04	1	-
z_i'	-	-	0,30	0,35	-	0,35	-	0,19	-	-	1	-

В табл. 2 показатели: X_1 – воздухопроницаемость; X_2 – гигроскопичность; X_3 – стойкость к истиранию по плоскости; X_4 – разрывная нагрузка; X_5 – устойчивость окраски; X_6 – прочность при раздирании; X_7 – жесткость; X_8 – стойкость к проколам и порезам; X_9 – усадка; X_{10} – осыпаемость.

Коэффициенты весомости значимых показателей качества были пересчитаны как $Z_i' = \frac{Z_i}{\Sigma Z_i}$, где Z_i – коэффициент весо-

мости i -го значимого показателя (последняя строка табл. 3).

Коэффициент согласованности оценок экспертов составил $W \approx 0,74$ при $\chi^2 = 53,3$ и значимости более 0,99.

Испытания тканей по выбранным показателям качества проводились по стандартным методикам при увеличенном числе испытаний. Сводные характеристики полученных результатов приведены в табл. 3.

Таблица 3

Наименование показателя		№ образца			
		1	2	3	4
Разрывная нагрузка по основе по ГОСТу 3813 при n=10	\bar{X}_{x_1} , даН	80,6	61,9	139,1	119,8
	σ_{x_1} , даН	4,5	4,5	5,4	4,5
	c_{x_1} , %	5,6	7,3	3,9	3,8
Прочность при раздирании по ГОСТу 17922 при n=10	\bar{X}_{x_1} , даН	0,7	4,4	2,7	6,7
	σ_{x_1} , даН	0,1	0,4	0,1	0,3
	c_{x_1} , %	14,3	8,2	3,7	4,5
Стойкость к истиранию по плоскости по ГОСТу 18976 при n=10	\bar{X}_{x_1} , тыс. циклов	11,4	10,5	13,0	18,8
	σ_{x_1} , тыс. циклов	0,8	0,6	0,7	0,6
	c_{x_1} , %	7,0	1,9	5,4	3,3

При дифференциальной оценке качества по определяющим показателям подсчитывался относительный показатель $\check{I}_o = \check{I}_\delta / \check{I}_\delta$, где \check{I}_δ – фактическое значение показателя, а \check{I}_δ – базовое. В качестве

\check{I}_δ было взято минимальное значение положительного показателя из четырех вариантов исследуемых тканей. Полученные значения \check{I}_i приведены в табл. 4.

Таблица 4

Наименование показателя	Относительные показатели качества \check{I}_i для тканей			
	1	2	3	4
Разрывная нагрузка по основе	1,30	1,00	2,25	1,94
Прочность при раздирании	1,00	6,28	3,86	9,57
Стойкость к истиранию по плоскости, тыс. циклов	1,08	1,00	1,24	1,79

Можно видеть, что дифференциальные оценки качества исследуемых тканей по определяющим показателям меняются в достаточно широких пределах. Например, по разрывной нагрузке $P_{02}=1$; $P_{01}=1,30$; $P_{04}=1,94$; $P_{03}=2,25$; по прочности при раздирании имеем $P_{01}=1$; $P_{03}=3,86$; $P_{02}=6,28$ и $P_{04}=9,57$; по стойкости к истиранию по плоскости $P_{02}=1$; $P_{01}=1,08$; $P_{03}=1,24$ и $P_{04}=1,79$. Используя эти данные, можно провести сравнительную оценку качества тканей по отдельным показателям, но дать общую сравнительную оценку качества исследуемых тканей не представляется возможным. Поэтому были использованы

комплексные показатели, подсчитанные как среднее арифметическое: $K_i = \sum_{i=1}^n \check{I}_{oi} Z_i$;

среднее геометрическое: $G_i = \prod_{i=1}^n \check{I}_{oi}^{z_i}$ и

среднее гармоническое: $H_i = \left(\sum_{i=1}^n \frac{Z_i}{\check{I}_{oi}} \right)^{-1}$,

где P_{oi} – относительное значение i-го показателя, а Z_i – весомость этого показателя. Подсчитанные таким образом комплексные оценки исследуемых тканей приведены в табл. 5.

Комплексные оценки	№ образца			
	1	2	3	4
К	1,13	2,85	2,51	4,56
G	1,12	1,90	2,27	3,30
H	1,11	1,43	2,13	2,56

Можно видеть, что при комплексной оценке качество исследуемых тканей по определяющим показателям выглядит так. По среднему арифметическому образец 4 лучше первого образца в 4,03 раза, второго – в 1,60 раза, третьего – в 1,82 раза. По среднему геометрическому образец 4 лучше первого образца в 2,95 раза, второго – в 1,74 раза, третьего – в 1,45 раза. И по среднему гармоническому образец 4 лучше первого образца в 2,31 раза, второго – в 1,79 раза и третьего – в 1,20 раза. То есть во всех случаях лучшим является образец 4, а худшим при сравнительной оценке – образец 1.

Сводные характеристики результатов лабораторных исследований механических свойств тканей, когда проба доводится до разрушения, позволяют оценить поведение материала лишь при "критических" воздействиях, которые в реальных условиях переработки и эксплуатации материал практически никогда не испытывает. Характеристики надежности: вероятность отказа; вероятность безотказной работы и интенсивность отказа позволяют оценить поведение материала в различных режимах испытания [5]. За отказ при этом можно принять разрушение испытываемой пробы.

Расчет характеристик надежности требует знания закона распределения отказов – результатов лабораторных испытаний. Подробное рассмотрение и выбор теоретических законов распределения для интерпретации результатов исследования различных свойств текстильных материалов даны в работе [5].

Для исследуемых показателей изучаемых тканей в качестве априорной статистической модели был выбран нормальный закон распределения.

Оценка правильности выбора нормального закона в качестве статистической модели для интерпретации результатов определения разрывной нагрузки, прочности

при раздирании и стойкости к истиранию исследуемых тканей для спецодежды проводилась методом "вероятностных бумаг" [5]. Этот метод основан на построении графика интегральной функции эмпирического распределения на специальной вероятностной бумаге соответствующего теоретического закона. Если экспериментальные точки группируются вблизи прямой линии, то можно считать, что эмпирическое распределение не противоречит статистической модели выбранного теоретического закона.

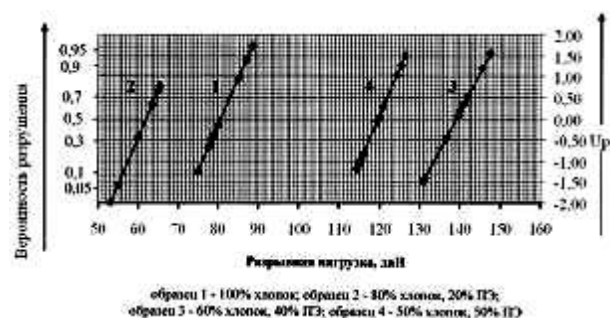


Рис. 1

На рис. 1 показано расположение точек накопленных частот результатов определения разрывной нагрузки по основе исследуемых тканей на вероятностной бумаге нормального закона; на рис. 2 – прочности при раздирании и на рис. 3 – стойкости к истиранию по плоскости. Можно видеть, что экспериментальные точки хорошо группируются по прямой линии, то есть эмпирические распределения не противоречат модели выбранного нормального закона.

Для нормального закона вероятность отказа для заданной наработки x определяется по формуле

$$F(x) = F_0 \left(\frac{x - \bar{x}}{\sigma_x} \right). \quad (1)$$

Вероятность безотказной работы $P(x) = 1 - F(x)$, а интенсивность отказов

$$\lambda(x) = \frac{1}{\sigma_x} f_1 \left(\frac{\bar{x} - x}{\sigma_x} \right), \quad (2)$$

где \bar{x} и σ_x – среднее и среднеквадратическое отклонение x ; F_0 – функция нормированного и центрированного нормального закона; f_1 – функция берется из специальных таблиц.

Сравнительная оценка надежности тканей, используемых при изготовлении спе-

циальной одежды для защиты от общих производственных загрязнений и механических воздействий, по исследуемым показателям может проводиться несколькими способами.

Первый. Задаемся определенной наработкой и по приведенным выше формулам подсчитываем характеристики надежности. Например, в табл. 6 это сделано для показателя стойкости к истиранию по плоскости исследуемых тканей при наработке x – числа циклов истирания $n=10$; 11 и 12 тыс. циклов.

Т а б л и ц а 6

n, тыс.циклов		10	11	12
образец 1 $\bar{n}_p = 11,4$ $\sigma_p = 0,8$	F(X)	0,039	0,305	0,770
	P(X)	0,961	0,695	0,230
	$\lambda(X)$	$0,11 \cdot 10^{-3}$	$0,64 \cdot 10^{-3}$	$1,70 \cdot 10^{-3}$
образец 2 $\bar{n}_p = 10,5$ $\sigma_p = 0,6$	F(X)	0,227	0,524	0,994
	P(X)	0,773	0,476	0,006
	$\lambda(X)$	$0,58 \cdot 10^{-3}$	$2,34 \cdot 10^{-3}$	$4,71 \cdot 10^{-3}$
образец 3 $\bar{n}_p = 13,0$ $\sigma_p = 0,7$	F(X)	~0,000	0,001	0,069
	P(X)	~1,000	0,999	0,931
	$\lambda(X)$	~0,000	~0,000	$0,22 \cdot 10^{-3}$
образец 4 $\bar{n}_p = 18,8$ $\sigma_p = 0,6$	F(X)	~0,000	~0,000	~0,000
	P(X)	~1,000	~1,000	~1,000
	$\lambda(X)$	~0,000	~0,000	~0,000

Такой способ удобен, когда сравниваемые материалы имеют близкие значения оцениваемых показателей. Например, это образцы 1, 2 и 3. Для них имеем, что при наработке $n=10$ тыс. истирающих воздействий вероятность отказа 2-го образца в $0,227/0,039 \approx 5,8$ раз выше чем у 1-го, вероятность безотказной работы у 3-го образца в $1/0,961 \approx 1,04$ раза больше чем у 1-го образца и в $1/0,773 \approx 1,3$ выше чем у 2-го образца. Из табл. 7 видно, что лучшие характеристики надежности по стойкости к истиранию по плоскости имеет образец 4. Однако провести количественную сравнительную оценку в этом случае затруднительно, особенно когда вероятность отказа, безотказной работы и интенсивность отказов близки к 0 или 1. В этом случае может

быть использован другой способ сравнительной оценки надежности изучаемых показателей.

Второй способ сравнительной оценки характеристик надежности по исследуемым показателям может быть осуществлен следующим образом. Выбирают необходимое значение одной из вероятностных характеристик надежности, определяют соответствующие ему значения наработки и сравнивают их между собой. Например, примем, что надежность по прочности – вероятность отсутствия отказов (разрушения) исследуемых тканей для спецодежды должна быть $P(x) \approx 0,9$, находим $F(x) = 1 - P(x) = 1 - 0,9 = 0,1$. Этому значению функции F_0 по формуле (1) соответствует аргумент

$$U_p = \frac{x - \bar{x}}{\sigma} = -1,28, \text{ где } U_p - \text{квантиль}$$

нормированного и центрированного нормального закона берется по специальным таблицам. Подставляя значения \bar{x} и σ_x сравниваемых вариантов тканей из табл. 4, находим соответствующие им наработки: $x_1 = -1,28\sigma_1 + \bar{x}_1 = -1,28 \cdot 4,5 + 80,6 = 74,8$ даН; $x_2 \approx 56,1$ даН; $x_3 \approx 132,2$ даН; $x_4 \approx 114,0$ даН. Имея эти значения, можно провести сравнительную оценку надежности исследуемых тканей. Лучшим по надежности разрывной нагрузки тканей является образец 3 (60% хлопок и 40% ПЭ), затем идет образец 4 (50% хлопок и 50% ПЭ), и далее образец 1 (100% хлопок) и образец 2 (80% хлопок и 20% ПЭ).

Если эмпирические распределения оцениваемых показателей нанесены на вероятностную бумагу и имеют достаточно прямолинейное расположение, то наработки для выбранной вероятности могут быть определены графически.

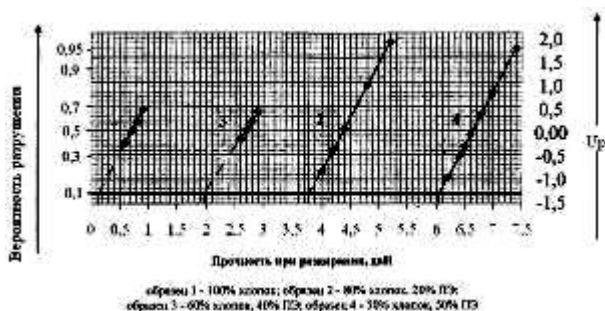


Рис. 2

Так, на рис. 2 это сделано для распределений прочности при разрывании 4-х образцов исследуемых тканей для заданной вероятности отсутствия отказа $P(x)=0,9$ или соответственно вероятности разрушения $F(x)=0,1$. Искомые значения x находим как координаты точки пересечения выравнивающей прямой с линией, соответствующей $F(x)=0,1$ и $U_p=-1,28$. Имеем следующие наработки: $x_1 \approx 0,1$ даН; $x_2 \approx 3,8$ даН; $x_3 \approx 2,0$ даН; $x_4 \approx 6,1$ даН.

В этом случае лучшим по надежности показателя прочности при раздирании является образец 4, далее идут образцы 2, 3 и 1.

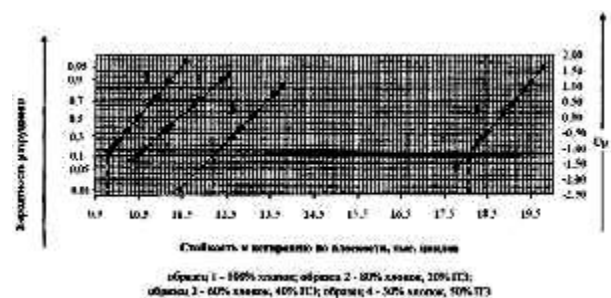


Рис. 3

Для стойкости к истиранию по плоскости при $P(x)=0,9$ и $F(x)=0,1$, $U_p=-1,28$ из рис. 3 имеем: лучшим по надежности является образец 4 ($x_4 \approx 18,0$ тыс. циклов); затем образец 3 ($x_3 \approx 12,2$ тыс. циклов); образец 1 ($x_1 \approx 10,3$ тыс. циклов); и образец 2 ($x_2 \approx 9,7$ тыс. циклов).

Имея такие данные, можно также провести комплексную сравнительную оценку по надежности изучаемых тканей по определяющим показателям качества. Для этого полученные при заданной вероятности отказа наработки переводим в относительные показатели и с учетом известных коэффициентов значимости этих показателей подсчитываем комплексные оценки как среднее арифметическое K , среднее геометрическое G или среднее гармоническое H . В табл. 7 приведены исходные данные и результаты таких расчетов.

Можно видеть, что по среднему арифметическому образец 4 лучше первого образца в 20,15 раза, второго – в 1,65 раза, третьего – в 2,80 раза. По среднему геометрическому образец 4 лучше первого образца в 5,84 раза, второго – в 1,83 раза, третьего – в 1,58 раза. И по среднему гармоническому образец 4 лучше первого образца в 2,63 раза, второго – в 1,93 раза и третьего – в 1,18 раза.

Показатели и их коэффициенты значимости		Абсолютные X и относительные P_0 значения наработки при $P(x)=0,9$ для образцов тканей			
		1	2	3	4
Разрывная нагрузка; $Z_4=0,35$	X, даН	74,8	56,1	132,2	114,0
	P_0	1,33	1,00	2,36	2,03
Прочность при раздирании; $Z_6=0,35$	X, даН	0,1	3,8	2,0	6,2
	P_0	1,00	38,00	20,00	62,00
Стойкость к истиранию по плоскости; $Z_3=0,30$	n, тыс. циклов	10,5	9,7	12,2	18,0
	P_0	1,08	1,00	1,28	1,86
Комплексные оценки	K	1,14	13,95	8,21	22,97
	G	1,12	3,57	4,14	6,54
	H	1,12	1,52	2,5	2,94

В разбираемом примере лучшим при комплексной оценке надежности по разрывной нагрузке, прочности при раздирании и стойкости к истиранию по плоскости для заданной вероятности отказа (разрушения) по показателям $P=0,9$ является образец ткани № 4. При этом следует иметь в виду, что общая надежность тканей по трем показателям будет равна $P_0=P_1P_2P_3$, где P_1 , P_2 и P_3 – вероятность отсутствия отказа по каждому показателю. Так как для каждого показателя было принято $P_i=0,9$, имеем $P_0=(0,9)^3 \approx 0,73$. Это означает, что при заданных наработках по разрывной нагрузке, прочности при раздирании и стойкости к истиранию по плоскости вероятность отсутствия отказа – надежность тканей будет равна 0,73, то есть из 100 образцов разрушится только 27.

Рассмотренная выше методика сравнительной оценки качества и надежности на примере хлопколавсановых тканей, используемых при изготовлении спецодежды для защиты от общих производственных загрязнений и механических воздействий, может быть использована и для других текстильных материалов и изделий из них.

ВЫВОДЫ

1. Сравнительную оценку текстильных изделий целесообразно проводить по качеству и надежности определяющих показателей.

2. Оценка качества и надежности тканей для специальной одежды может проводиться по дифференциальным и комплексным показателям.

3. Предложена методика сравнительной оценки качества и надежности и показано ее применение для 4-х вариантов хлопколавсановых тканей, используемых при пошиве спецодежды для защиты от общих производственных загрязнений и механических воздействий.

ЛИТЕРАТУРА

1. Русинова А.М., Доценко Г.И., Гурович К.А. Производственная одежда. – М.: Легкая индустрия, 1974.
2. ГОСТ 15467. Управление качеством продукции. Основные понятия. Термины и определения.
3. Соловьев А.Н., Кирюхин С.М. Оценка качества и стандартизация текстильных материалов. – М., 1974.
4. Гнеденко Б.В., Беляев Ю.К., Соловьев А.Д. Математические методы в теории надежности. – М., 1965.
5. Соловьев А.Н., Кирюхин С.М. Оценка и прогнозирование качества текстильных материалов. – М., 1984.
6. Фомченкова Л. Спецодежда: от медицинского халата до робы для сталевара// Рабочая одежда. – 2005, № 4.

Рекомендована кафедрой материаловедения РосЗИТЛП. Поступила 01.06.09.