

УДК 667.017
DOI 10.47367/0021-3497_2022_3_123

**ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ПРОЧНОСТИ
ХЛОПЧАТОБУМАЖНОЙ ПРЯЖИ ИЗ ВТОРИЧНОГО СЫРЬЯ**

**THE STUDY OF SECONDARY RAW MATERIALS'
COTTON YARN STRENGTH CHARACTERISTICS**

С.М. КИРЮХИН, С.В. ПЛЕХАНОВА, А.Ф. ПЛЕХАНОВ, Н.А. ВИНОГРАДОВА
S.M. KIRYUKHIN, S.V. PLEKHANOVA, A.F. PLEKHANOV, N.A. VINOGRADOVA

**(Российский государственный университет им. А.Н. Косыгина (Технологии. Дизайн. Искусство),
Национальный исследовательский Московский государственный
строительный университет (НИУ МГСУ))**

**(Russian State University named after A.N. Kosygin (Technologies. Design. Art),
Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU))**

E-mail: kiryuhin-sm@rguk.ru; plekhanova-sv@rguk..ru; plekhanov-af@rguk..ru; lisa-xumuk@yangex.ru

В статье приведены результаты сравнительных испытаний хлопчатобумажной пряжи из вторичного сырья линейных плотностей 25, 29, 50 и 60 текс, выработанной по кардной системе прядения пневмомеханическим способом, с показателями качества пряжи из стандартной сортировки средневолокнистого хлопка. Отмечается, что пряжа из стандартной сортировки имеет меньшую вероятность обрывов и интенсивность отказов по всему диапазону задаваемых нагрузок и удлинений. Интенсивность

разрушения при нагрузке 300 сН в 3,45 раза меньше, чем у пряжи из вторичного сырья. При удлинении вероятность обрывов пряжи из вторичного сырья в 5,3 раза выше, а интенсивность разрушения пряжи выше в 4,4 раза. Полученная информация значительно расширяет возможность оценки показателей механических свойств пряжи. Результаты исследований могут быть использованы при выборе технологических режимов переработки сырья.

The article presents the results of comparative tests of secondary raw materials' cotton yarn with linear densities of 25, 29, 50 and 60 tex, produced by a carded spinning system by an open end method, with indicators of the yarn quality from a standard sorting of medium-staple cotton. It is noted that yarns from standard grades have a lower probability of breakage and a lower failure rate over the entire range of specified loads and elongations. The intensity of destruction at a load of 300 cN is 3.45 times less than that of yarn produced from secondary raw materials. With lengthening, the probability of yarn breakage from secondary raw materials is 5.3 times higher, and the intensity of yarn destruction is 4.4 times higher. The information received significantly expands the ability to assess the indicators of the yarn mechanical properties. The research results can be used when choosing technological modes of raw material processing.

Ключевые слова: хлопчатобумажная пряжа, вторичное сырье, разрывная нагрузка, разрывное удлинение, зажимная длина.

Keywords: cotton yarn, secondary raw materials, breaking load, breaking elongation, clamping length.

Рациональное использование вторичного сырья в хлопчатобумажной отрасли для изготовления текстильных изделий становится все более актуальной задачей [1], [2].

Разработана технология выработки хлопчатобумажной пряжи из вторичного сырья [3] по кардной системе прядения пневмомеханическим способом. Внедрение новой технологии в производство предполагает всестороннее исследование механических свойств нового вида пряжи [4]. Прочность является одной из основных характеристик механических свойств нитей, определяющих их поведение в технологических процессах переработки и качество вырабатываемых из них текстильных изделий [5], [6].

Целью работы являлось всестороннее исследование характеристик прочности хлопчатобумажной пряжи из вторичного сырья хлопчатобумажного производства.

В качестве объектов исследования были выбраны четыре образца хлопчатобумаж-

ной пряжи линейной плотности 25, 29, 50 и 60 текс, изготовленные из отходов хлопчатобумажного производства по ГОСТ 5159 с использованием технологии, изложенной в работе [3]. Пряжа из отходов была получена из сортировки хлопчатобумажных отходов – стандарт № 3, 7 и 11 в процентном соотношении 54:26:20. Прием обозначение этой пряжи – ПО.

Общая методика работы включала получение стандартных характеристик прочности ПО, изучение их статистических моделей – законов распределения, в том числе при различной зажимной длине, нахождение характеристик надежности по прочности исследуемых образцов пряжи [7]. Для сравнения аналогичные исследования проводились для хлопчатобумажной пряжи тех же линейных плотностей стандартной смеси по ОСТ 17-96–86. Обозначим эту пряжу ПС.

В табл. 1 даны сводные характеристики разрывной нагрузки и удлинения при разрыве исследуемых образцов хлопчатобумаж-

бумажной пряжи, полученные при испытании выборки по ГОСТ 6611.2: \bar{x} – среднее

значение, σ_x – среднее квадратическое отклонение, C – коэффициент вариации.

Т а б л и ц а 1

Линейная плотность пряжи Т, текс	Сводные характеристики	ПО		ПС	
		Р _р , сН	ℓ _р , мм	Р _р , сН	ℓ _р , мм
25	\bar{X}	224	29,5	232	29,5
	σ_x	32,7	4,10	30,6	3,86
	C, %	14,6	13,9	13,2	13,1
29	\bar{X}	261	27,5	322	33,0
	σ_x	39,9	3,11	45,0	2,84
	C, %	15,3	11,3	14,0	8,6
50	\bar{X}	422	35,0	489	41,0
	σ_x	60,8	4,13	70,4	3,90
	C, %	14,4	11,8	14,4	9,5
60	\bar{X}	630	39,0	635	46,0
	σ_x	49,8	3,39	51,1	2,53
	C, %	7,9	8,7	8,0	5,5

Из табл. 1 (результаты испытания разрывной нагрузки пряжи и удлинения при разрыве) видно, что для всех исследуемых образцов средние значения разрывной нагрузки, удлинения при разрыве и неровнота по этим показателям прочности для ПО хуже, чем для пряжи ПС. Для количественной оценки этих изменений были подсчитаны относительные значения: $\Delta_{II} = 100(P_{O} - P_{C})/P_{C}$, %, где P_{O} и P_{C} –

соответствующие показатели прочности ПО и ПС. Полученные результаты приведены в табл. 2 (оценка изменений и достоверности различия характеристик прочности хлопчатобумажной пряжи из отходов и стандартной сортировки)/ Там же дана статистическая оценка достоверности различия \bar{X}_B по критерию Стьюдента t и σ_B по критерию Фишера F для доверительной вероятности 0,95 [8].

Т а б л и ц а 2

Т, текс	Сводные характеристики	Δ_P , %	Δ_I , %	Достоверность различия			
				$t_{0,95}=3,29$		$t_{0,95}=1,39$	
				Р _р		ℓ _р	
25	\bar{X}	-3,4	0	t=1,79	недостоверна	t=0	недостоверна
	σ_x	6,9	6,5	F=1,14	недостоверна	F=1,13	недостоверна
	C, %	10,6	5,3	-	-	-	-
29	\bar{X}	-18,9	-16,7	t=10,2	достоверна	t=13,1	достоверна
	σ_x	-11,3	8,8	F=1,27	недостоверна	F=1,18	недостоверна
	C, %	9,3	29,9	-	-	-	-
50	\bar{X}	-13,7	-14,6	t=7,20	достоверна	t=10,5	достоверна
	σ_x	-13,6	6,4	F=1,34	недостоверна	F=1,13	недостоверна
	C, %	0	24,2	-	-	-	-
60	\bar{X}	-0,8	-15,2	t=0,70	недостоверна	t=16,7	достоверна
	σ_x	-2,5	33,3	F=1,05	недостоверна	F=1,78	достоверна
	C, %	-1,2	60,0	-	-	-	-

Из табл. 2 видно, что наибольшие изменения Δ средних значений характеристик прочности наблюдаются у ПО линейной плотности 29 и 50 текс, а наименьшие – для разрывного удлинения ПО 25 текс и разрывной нагрузки для ПО 60 текс.

Неровнота характеристик прочности ПО изменяется неоднозначно. Величины σ_p ПО для трех из четырех исследуемых образцов были меньше, чем у ПС на 2,5...13,6%, а для ПО 25 текс σ_p увеличилась на 6,9%. Разрывное удлинение σ_1 увеличилось для всех исследуемых образцов ПО, причем наиболее существенно для ПО 60 текс, т.е. пряжи большей линейной плотности. Коэффициент вариации разрывной нагрузки и удлинения при разрыве, как и следовало ожидать, для всех образцов ПО увеличивается. Исключение составляют лишь C_p для ПО 50 и 60 текс. Интересно отметить, что если по средним значениям разрывной нагрузки и удлинения при разрыве ПО в большинстве случаев имела достоверно худшие показатели по сравнению с ПС, то по неравномерности характеристик прочности σ , особенно разрывной нагрузке σ_p различия между ПО и ПС статистически недостоверны. Это может быть

связано с особенностями измерения этих показателей, а также физической сущностью неровноты по прочности ПО и ПС.

Средние значения \bar{P}_p и $\bar{\ell}_p$ характеризуют предельные критические величины разрывной нагрузки и удлинения при разрыве. В реальных условиях переработки пряжи и эксплуатации изготовленных из нее изделий нити испытывают нагрузки и деформации много меньше P_p и ℓ_p . Поэтому для оценки характеристик прочности ПО в широком диапазоне нагрузок и деформаций были исследованы статистические модели этих показателей – законы распределения. Для этого по результатам первичных испытаний определяли асимметрию as и эксцесс ex эмпирических распределений P_p и ℓ_p для ПО и ПС при различных значениях зажимной длины образцов пряжи: $L_3=100; 300$ и 500 мм. Полученные результаты приведены в табл. 3 (асимметрия as и эксцесс ex эмпирических распределений разрывной нагрузки пряжи при различных значениях зажимной длины образцов) и разрывного удлинения пряжи – в табл. 4. Выбор различных зажимных длин для данных исследований был обусловлен тем, что это дает возможность дополнительно оценить механизм разрушения образцов пряжи [9], [10].

Таблица 3

Т, текс	Показатели	ПО			ПС		
		Зажимная длина, мм					
		100	300	500	100	300	500
25	P_p , сН	262	253	224	289	277	232
	σ , сН	26,1	30,0	33,2	22,0	27,0	31,1
	C , %	9,8	11,8	14,6	7,8	9,7	13,2
	as	0,11	0,40	0,87	-0	0,10	0,28
	ex	-1,00	-0,84	0,52	-1,09	-0,96	-0,58
29	P_p , сН	300	295	261	360	353	322
	σ , сН	33,3	36,3	39,9	43,6	39,4	45,0
	C , %	11,1	12,3	15,3	12,1	11,1	14,0
	as	-0,39	0,054	-0,051	0,035	-0,058	-0,15
	ex	0,43	-0,58	-0,64	-0,54	-0,58	-0,75
50	P_p , сН	432	421	422	532	523	489
	σ , сН	58,8	61,0	60,8	58,0	66,9	70,4
	C , %	13,6	14,5	14,4	10,9	12,8	14,4
	as	0,12	0,10	-0	-0,12	-0,11	0,30
	ex	-1,20	1,08	0,14	-1,29	-1,25	-0,14
60	P_p , сН	675	644	630	745	670	635
	σ , сН	60,7	52,2	51,0	62,6	46,9	51,1
	C , %	9,0	8,1	8,1	8,4	7,0	8,0
	as	-0,31	-0,46	-0,20	0,71	0,18	-0,049
	ex	0,26	0,023	-1,02	0,097	-2,01	-0,92

Из табл. 3 видно, что σ_{as} и σ_{ex} разрывной нагрузки ПО и ПС при различных L_3 невелики по абсолютному значению и соизмеримы с трехкратной величиной их основной ошибки $\sigma_{as} = 0,24$ и $\sigma_{ex} = 0,46$.

$$\sigma_{as} = \sqrt{\frac{6(n-1)}{(n+1) \cdot (n+3)}}, \quad (1)$$

$$\sigma_{ex} = \sqrt{\frac{24n(n-2)(n-3)}{(n-1)^2(n+3)(n+5)}}, \quad (2)$$

где n – число результатов.

Общей закономерности изменения σ_{as} и σ_{ex} по R_p при различных значениях L_3 не прослеживается. Из этого можно сделать заключение, что эмпирические распределения R_p для ПО и ПС при различных L_3 не противоречат статистической модели нормального закона, и, следовательно, механизм разрушения пряжи из "отходов" и "стандартной смеси", скорее всего, одинаков. Также достаточно четко прослеживается тенденция уменьшения R_p при увеличении L_3 , что характерно практически для всех текстильных нитей.

Темп этого снижения можно выразить через величину:

$$K_p = \frac{\bar{P}_{100} - \bar{P}_{500}}{\bar{P}_{100}}, \quad (3)$$

где \bar{P}_{100} и \bar{P}_{500} – значения средней разрывной нагрузки пряжи при зажимной длине 100 и 500 мм.

Величина K_p будет иметь значения: для ПО – от 0,02 ($T=50$ текс) до 0,14 ($T=25$ текс) и для ПС – от 0,08 ($T=50$ текс) до 0,20 ($T=25$ текс). Т.е. наименьший K_p наблюдается для пряжи большей линейной плотности и наоборот – наибольший для пряжи меньшей линейной плотности. Это имеет свое объяснение, т.к. в более "тонкой" пряже вероятность проявления "слабых звеньев" гораздо выше, чем в пряже большей линейной плотности. Меньшее значение K_p для ПО обусловлено более высокой прочностью ПС. Изменение характеристик неровноты по R_p при увеличении L_3 вписывается в известную закономерность: для ПО и ПС неровнота σ_p растет при увеличении L_3 . Исключение наблюдается лишь для пряжи 60 текс. Темпы роста σ_p составляют для ПО – от 0,03 ($T=50$ текс) до 0,27 ($T=25$ текс) и для ПС – от 0,03 ($T=29$ текс) до 0,40 ($T=25$ текс). Т.е. примерно та же картина, что и для изменения \bar{P}_p . Хотя абсолютный темп прироста гораздо выше, т.е. неровнота по прочности при изменении L_3 меняется гораздо существеннее, чем \bar{P}_p .

Т а б л и ц а 4

Т, текс	Показатели	ПО			ПС		
		Зажимная длина, мм					
		100	300	500	100	300	500
25	ℓ_p , сН	6,8	19,2	29,5	7,2	20,7	29,5
	σ , сН	0,55	1,56	4,10	0,61	1,59	3,86
	C, %	8,1	8,1	13,9	8,4	7,7	13,1
	σ_{as}	0,23	0,28	-0,017	0	-0,15	-0,33
	σ_{ex}	0,053	-1,02	0,21	-0,41	-0,81	-0,49
29	ℓ_p , сН	7,8	21,3	27,5	9,2	25,5	33,0
	σ , сН	0,90	1,90	3,11	0,91	2,06	2,84
	C, %	11,5	8,9	11,3	10,1	8,1	8,6
	σ_{as}	-0,073	-0,29	0,12	-0,28	-0,17	-0,67
	σ_{ex}	-0,60	0,084	-0,23	0,078	-0,16	0,15
50	ℓ_p , сН	8,7	22,8	35,0	10,2	28,8	41,0
	σ , сН	0,71	1,21	4,13	0,67	1,58	3,90
	C, %	8,2	5,3	11,8	6,6	5,5	9,5
	σ_{as}	0,08	-0,16	0,12	-0,15	-0,46	0,18
	σ_{ex}	-1,04	-0,88	-0,38	-0,68	-0,68	-0,23

60	ℓ_p , сН	9,5	24,3	39,0	12,2	30,9	46,0
	σ , сН	0,9	1,60	3,39	1,1	1,82	3,17
	C, %	9,5	6,6	8,8	9,0	5,9	6,9
	as	0,51	-0,31	0,27	0,38	0,48	0,066
	ex	0,11	0,24	-0,15	0,071	-0,073	-0,54

Для разрывного удлинения ПО и ПС (табл. 4 – асимметрия as и эксцесс ex эмпирических распределений разрывного удлинения пряжи при различной зажимной длине образцов) значения as и ex при различных L_3 также невелики и соизмеримы с трехкратной величиной их основных ошибок ($\sigma_{as}=0,24$ и $\sigma_{ex}=0,46$). При увеличении зажимной длины, как и следовало ожидать, растет абсолютное значение разрывного удлинения для ПО и ПС. Исключение, как и в случае с разрывной нагрузкой, составляет пряжа большой линейной плотности ($T=60$ текс).

При этом темпы роста ℓ_p при увеличении L_3 подсчитаны как:

$$K_1 = \frac{\bar{l}_{100} - \bar{l}_{500}}{\bar{l}_{100}}, \quad (4)$$

где \bar{l}_{100} и \bar{l}_{500} – значения среднего разрывного удлинения пряжи соответственно при зажимной длине 100 и 500 мм.

Величина K_1 для ПО изменяется в диапазоне от 0,72 ($T=29$ текс) до 0,77 ($T=25$ текс), для ПС – от 0,72 ($T=29$ текс) до 0,76 ($T=25$ текс).

Проведенные исследования статистических моделей характеристик прочности четырех образцов пряжи из отходов и стандартной сортировки при различных зажимных длинах показали, что они не противоречат нормальному закону и имеют в целом одинаковые закономерности изменения [4]. Т.е. физическая сущность и механизм обусловленности характеристик прочности ПО и ПС можно считать идентичным.

Зная закон распределения изучаемого показателя, становится возможным рассчитать характеристики надежности, например, вероятность и интенсивность отказов [4], [5]. Применительно к показателям прочности нити это дает дополнительную ин-

формацию, которая может быть использована для прогнозирования обрывности при заданных значениях внешней нагрузки [9].

Получены зависимости изменения вероятности отказа $F(x)$ и интенсивности отказа $\lambda(x)$ для разрывной нагрузки и удлинения при разрыве на примере исследуемых образцов пряжи линейной плотности 29 текс ПО и ПС при $L_3=500$ мм. Расчет проводился по формулам нормального закона распределения:

$$F(x) = F_0 \left[\frac{x - \bar{x}}{\sigma_x} \right], \quad (5)$$

$$\lambda(x) = \frac{1}{\sigma_x} f_1 \left[\frac{\bar{x} - x}{\sigma_x} \right], \quad (6)$$

где F_0 – функция нормированного и центрированного нормального закона; x – выбранное значение нагрузки или деформации; \bar{x} и σ_x – среднее и среднеквадратическое значения характеристик прочности; f_1 – функция, значение которой берется по специальным таблицам.

Сравнивая два вида исследуемой пряжи, можно отметить, что пряжа ПС имеет меньшую вероятность обрывов и интенсивность отказов по всему диапазону задаваемых нагрузок и удлинений. Интенсивность разрушения при нагрузке 300 сН у пряжи ПС в 3,45 раза меньше, чем пряжи ПО. Аналогичная картина наблюдается и для удлинения нити при разрыве. При удлинении 30 мм вероятность обрывов ПС в 5,3 раза меньше, чем ПО, а интенсивность отказов (разрушения пряжи) – в 4,4 раза. Полученная информация значительно расширяет возможность оценки показателей механических свойств пряжи. Эти данные могут быть использованы при выборе технологических режимов переработки сырья.

ВЫВОДЫ

Внедрение новой технологии в производство предполагает всестороннее исследование механических свойств нового вида пряжи.

Для всех исследуемых образцов средние значения разрывной нагрузки, удлинения при разрыве и неровнота по этим показателям прочности для пряжи из отходов хлопчатобумажного производства (ПО) хуже, чем для пряжи стандартной сортировки (ПС).

Пряжа ПС по сравнению с пряжей ПО имеет меньшую вероятность обрывов и интенсивность отказов по всему диапазону задаваемых нагрузок и удлинений.

Однако, пряжа из отходов, уступая пряже стандартной сортировки по некоторым показателям качества, выигрывает по стоимостным показателям. Пряжа ПО востребована на предприятиях, где в процессе производства и эксплуатации не требуются повышенные значения прочностных характеристик.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гусев Б.Н., Матрохин А.Ю. Текстильное материаловедение перед технологическим рывком // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2016, № 1. С. 42...47.
2. Гусев Б.Н., Матрохин А.Ю. Материаловедение: традиции, достижения, перспективы // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2018, №4 (376). С. 31...36.
3. Плеханов А.Ф. Безотходная технология в пневмопрядении. – М.: Легпромбытиздат, 1994.
4. Соловьев А.Н., Кирюхин С.М. Оценка и прогнозирование качества текстильных материалов. – М.: Легкая и пищевая промышленность, 1984.
5. Кирюхин С.М., Плеханова С.В., Демократова Е.Б. Квалиметрия и управление качеством текстильных материалов. – Часть 1. Квалиметрия и контроль качества текстильных материалов. – М.: РГУ имени А.Н. Косыгина, 2017.
6. Кирюхин С.М., Шустов Ю.С. Текстильное материаловедение. – М.: КолосС, 2011.
7. Шустов Ю.С., Кирюхин С.М., Давыдов А.Ф. и др. Текстильное материаловедение: лабораторный практикум. – М.: ИНФРА-М, 2021.
8. Кирюхин С.М., Плеханова С.В. Экспертные методы при оценке качества тканей // Дизайн и технологии. – 2019. № 71 (113). С. 63...70.

9. Грушина Ю.С., Иванов А.В., Грузинцева Н.А., Гусев Б.Н. Автоматизация метода испытания на ударную прочность геосинтетических материалов для дорожного строительства. // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2017, № 2. С.223...226.

10. Матрохин А.Ю., Королев В.П. Разработка методики оценки триботехнических характеристик текстильных материалов // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2018, №3. С.48...51.

REFERENCES

1. Gusev B.N., Matrokhin A.Yu. Textile materials science before the technological breakthrough. // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstilnoi Promyshlennosti. – 2016, No. 1 (361). pp. 42...47.
2. Gusev B.N., Matrokhin A.Yu. Material science: traditions, achievements, prospects // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstilnoi Promyshlennosti. – 2018, No. 4 (376). pp.31...36.
3. Plekhanov A.F. Waste-free technology in pneumatic spinning. - M.: Legprombytizdat, 1994.
4. Soloviev A.N., Kiryukhin S.M. Assessment and forecasting of the quality of textile materials. - M.: Light and food industry, 1984.
5. Kiryukhin S.M., Plekhanova S.V., Demokratova E.B. Qualimetry and quality management of textile materials. Part 1. Qualimetry and quality control of textile materials: textbook. - M.: Kosygin Russian State University, 2017.
6. Kiryukhin S.M., Shustov Yu.S. Textile materials science. - M.: KolosS, 2011.
7. Shustov Yu.S., Kiryukhin S.M., Davydov A.F. et al. Textile materials science: laboratory workshop. - M.: INFRA-M, 2021.
8. Kiryukhin S.M., Plekhanova S.V. Expert methods for assessing the quality of tissues // Design and technology. - 2019. No. 71 (113). pp. 63...70.
9. Grushina Yu.S., Ivanov A.V., Gruzintseva N.A., Gusev B.N. Automation of the impact strength testing method of geosynthetic materials for road construction. // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstilnoi Promyshlennosti. – 2017, No. 2 (368). pp. 223...226.
10. Matrokhin A.Yu., Korolev V.P. Development of a methodology for assessing tribotechnical characteristics of textile materials // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstilnoi Promyshlennosti. – 2018, No. 3 (375). pp. 48...51.

Рекомендована кафедрой материаловедения и товарной экспертизы РГУ имени А.Н. Косыгина. Поступила 13.04.22.