

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

**INVESTIGATION OF RELIABILITY CHARACTERISTICS  
OF COTTON YARN FROM SECONDARY RAW MATERIALS**

*C.B. ПЛЕХАНОВА<sup>1</sup>, Н.А. ВИНОГРАДОВА<sup>2</sup>*

*S.V. PLEKHANOVA<sup>1</sup>, N.A. VINOGRADOVA<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>Российский государственный университет им. А.Н. Косыгина (Технологии. Дизайн. Искусство),

<sup>2</sup>Национальный исследовательский Московский государственный  
строительный университет (НИУ МГСУ))

<sup>1</sup>The Kosygin State University of Russia,

<sup>2</sup> Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU))

E-mail: plekhanova-sv@rguk.ru

*В статье приведены результаты сравнительных испытаний полуцикловых неразрывных характеристик и характеристик надежности хлопчатобумажной пряжи из вторичного сырья линейной плотности 29 текс, выработанной по кардной системе прядения пневмомеханическим способом, с показателями качества пряжи из стандартной сортировки средневолокнистого хлопка. По результатам исследования полуцикловых неразрывных характеристик можно отметить рост нагрузки при увеличении фиксированного удлинения и рост удлинения при увеличении фиксируемой нагрузки. Пряжа стандартной сортировки имеет меньшую вероятность обрывов и интенсивность отказов по всему диапазону задаваемых нагрузок и деформаций для всех зажимных длин. Анализ фактических и теоретических данных по обрывности пряжи установил возможность прогнозирования поведения пряжи при растяжении по неразрывным полуцикловым характеристикам, как наиболее приближенным к реальным условиям процессов переработки и эксплуатации.*

*The article presents the results of comparative tests of semi-cycle continuous characteristics and reliability characteristics of cotton yarn from secondary raw materials with a linear density of 29 tex, developed using a cardan spinning system by pneumomechanical method, with quality indicators of yarn from standard sorting of medium-fiber cotton. According to the results of the study of semi-cycle continuous characteristics, it is possible to note an increase in load with an increase in fixed elongation and an increase in elongation with an increase in fixed load. Yarn*

*of standard sorting has a lower probability of breakage and failure rate over the entire range of specified loads and deformations for all clamping lengths. The analysis of actual and theoretical data on yarn breakage has established the possibility of predicting the behavior of yarn during stretching by continuous semi-cycle characteristics, as the closest to the real conditions of processing and operation processes.*

**Ключевые слова:** хлопчатобумажная пряжа, вторичное сырье, полуцикловые неразрывные характеристики, надежность, поведение пряжи.

**Keywords:** cotton yarn, secondary raw materials, semi-cycle continuous characteristics, reliability, yarn behavior.

В хлопчатобумажной отрасли все более актуальной становится задача рационального использования сырья, применения вторичного сырья [1], [2].

Разработана технология выработки хлопчатобумажной пряжи из вторичного сырья [3] по кардной системе прядения пневмомеханическим способом. Новая технология изготовления пряжи предполагает ее всестороннее исследование [4]. Актуальным является вопрос изучения поведения пряжи в технологических процессах переработки и эксплуатации на базе неразрывных полуцикловых характеристик и характеристик надежности [5], [6].

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

В качестве объекта исследования выбрана хлопчатобумажная пряжа линейной плотности 29 текс, изготовленная из отходов хлопчатобумажного производства по ГОСТ 5159 с использованием технологии, изложенной в работе [3]. Пряжа из отходов 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 неразрывных полуцикловых характеристик прочности ПО, нахождение характеристик надежности по прочности, анализ данных по обрывности исследуемой пряжи [7, 8]. Для сравнения аналогичные исследования проводились для хлоп-

чатобумажной пряжи той же линейной плотности стандартной смеси по ОСТ 17-96-86. Обозначим эту пряжу ПС.

Всестороннее исследование характеристик прочности хлопчатобумажной пряжи из вторичного сырья хлопчатобумажного производства было проведено в работе [9].

В данной работе исследовались неразрывные полуцикловые характеристики, которые больше отвечают реальным условиям переработки нитей, когда испытываемые ими нагрузки и деформации меньше разрывных.

Проведены испытания для каждого задаваемого уровня нагрузки и удлинения при изменении условий проведения эксперимента (зажимная длина  $L_{\text{зж}} = 100, 300$  и  $500$  мм). Для каждой зажимной длины испытания проводились по трем различным задаваемым нагрузкам и деформациям, выбираемым в зависимости от значения среднего выборочного для каждой зажимной длины. В ходе испытаний фиксировалась нагрузка нити по достижении заданного значения деформации или удлинение нити по достижении заданного значения нагрузки, которую нить выдерживает не разрушаясь. Отмечалось количество обрывов.

В результате проведенных испытаний получены следующие данные: сводные выборочные характеристики неразрывного удлинения при фиксированной нагрузке (табл. 1) и сводные выборочные характеристики неразрывной нагрузки пряжи при фиксированном удлинении (табл. 2).

Таблица 1

Сводные характеристики	ПС			ПО		
Зажимная длина $L_{\text{зж}} = 100$ мм						
Нагрузка, сН	280	330	380	280	330	380
n	96	75	36	79	17	-
$\varepsilon$ , %	$7,0 \pm 0,1$	$8,4 \pm 0,4$	$9,6 \pm 0,8$	$4,5 \pm 0,2$	$5,7 \pm 0,2$	-
$\sigma$ , %	0,6	1,2	1,2	0,8	1,0	-
C, %	8,0	13,7	11,9	17,8	17,5	-
as	0,018	0,270	-0,746	-0,041	0,404	-
ex	0,070	-0,270	-0,276	-0,560	-0,240	-
Зажимная длина $L_{\text{зж}} = 300$ мм						
Нагрузка, сН	270	320	370	270	320	370
n	100	77	37	80	24	-
$\varepsilon$ , %	$7,4 \pm 0,1$	$8,5 \pm 0,1$	$9,7 \pm 0,1$	$3,9 \pm 0,1$	$4,1 \pm 0,1$	-
$\sigma$ , %	0,3	0,4	0,2	0,4	0,5	-
C, %	3,6	5,0	2,0	10,3	11,3	-
as	-0,012	0,530	0,003	-0,042	0,268	-
ex	0,488	0,178	-0,001	-0,360	-0,700	-
Зажимная длина $L_{\text{зж}} = 500$ мм						
Нагрузка, сН	250	300	350	250	300	350
n	97	68	32	59	21	5
$\varepsilon$ , %	$5,7 \pm 0,1$	$6,5 \pm 0,1$	$7,0 \pm 0,1$	$3,9 \pm 0,1$	$4,4 \pm 0,1$	$4,7 \pm 0,1$
$\sigma$ , %	0,3	0,5	0,2	0,4	0,4	0,4
C, %	5,0	7,0	3,0	9,2	8,7	7,7
as	-0,544	-0,482	-0,285	0,042	0,119	0,217
ex	-0,015	-0,257	-0,480	-0,410	0,544	-0,621

Таблица 2

Сводные характеристики	ПС			ПО		
Зажимная длина $L_{\text{зж}} = 100$ мм						
Удлинение, %	7,6	8,6	9,6	7,6	8,6	9,6
n	95	78	37	62	21	1
P, сН	$301 \pm 2$	$374 \pm 11$	$420 \pm 10$	$280 \pm 4$	$301 \pm 4$	320
$\sigma$ , %	9,1	33,2	32,8	17,6	16,1	-
C, %	3,0	8,9	7,8	6,3	5,4	-
as	0,234	0,056	0,111	-0,156	0	-
ex	-0,311	-0,542	-0,083	-0,012	-0,074	-
Зажимная длина $L_{\text{зж}} = 300$ мм						
Удлинение, %	7,0	8,0	9,0	7,0	8,0	9,0
n	96	78	21	58	10	-
P, сН	$307 \pm 4$	$357 \pm 11$	$412 \pm 10$	$273 \pm 4$	$296 \pm 4$	-
$\sigma$ , %	17,7	33,3	35,4	18,9	16,6	-
C, %	5,8	9,3	8,6	6,9	5,6	-
as	0,102	-0,886	-0,220	0,163	-0,087	-
ex	-0,616	-0,551	-0,640	0,100	0,101	-
Зажимная длина $L_{\text{зж}} = 500$ мм						
Удлинение, %	5,0	6,0	7,0	5,0	6,0	7,0
n	99	82	23	80	19	1
P, сН	$260 \pm 3$	$311 \pm 11$	$383 \pm 6$	$247 \pm 4$	$266 \pm 5$	290
$\sigma$ , %	13,7	37,6	12,0	18,8	22,1	-
C, %	5,2	12,1	3,1	7,6	8,3	-
as	-0,474	-0,373	0,307	-0,494	-0,107	-
ex	0,892	-0,442	-0,066	0,110	-0,123	-

По полученным результатам можно отметить рост нагрузки при увеличении фиксированного удлинения и рост удлине-

ния при увеличении фиксируемой нагрузки. Темп роста нагрузки в среднем составляет для ПС 0,28, для ПО 0,12. Темп роста

удлинения в среднем составляет для ПС 0,23, для ПО 0,18.

В ходе последовательной оценки (по величине асимметрии и эксцесса, с использованием коэффициента вариации, с помощью метода вероятностных бумаг, по критерию Пирсона) выявлено, что неразрывные полуцикловые характеристики прочности ПС и ПО подчиняются нормальному закону распределения.

В некоторых случаях мало изучить характеристики прочности, необходимо владеть дополнительной информацией для возможности прогнозирования обрывности пряжи в ткачестве или при эксплуатации. Этим занимается теория надежности, учитывающая вероятность возникновения того или иного события. Использование теории надежности позволяет прогнозировать поведение исследуемой пряжи, что дает возможность регулировать процесс ткачества [4].

При лабораторных испытаниях механических свойств текстильных материалов оценка надежности сводится к определению вероятностных характеристик достижения ими определенных состояний [10]. Если испытание связано с разрушением образца, то оценивается вероятность наступления такого события для заданной нагрузки или деформации.

В работе определялись следующие характеристики надежности: вероятность отказов, вероятность безотказной работы, интенсивность отказов [4].

Для нормального закона распределения:

- вероятность отказов

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

- вероятность безотказной работы

$$P(x) = 1 - F(x), \quad (2)$$

- интенсивность отказов

$$\lambda(x) = \frac{1}{\sigma_x} f_1\left(\frac{\bar{x} - x}{\sigma_x}\right), \quad (3)$$

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

Вероятность отказа в нашем случае означает вероятность обрыва пряжи при определенных значениях нагрузки или деформации.

В табл. 3 приведены результаты расчетов характеристик надежности пряжи линейной плотности 29 текс стандартной сортировки и из отходов хлопкопрядильного производства при зажимной длине  $L_{\text{зак}} = 500$  мм при фиксированной нагрузке (по данным работы [9]).

Т а б л и ц а 3

Нагрузка, сН	Вероятность отказов F(P)		Вероятность безотказной работы P(P)		Интенсивность отказов $\lambda(P)$	
	ПС	ПО	ПС	ПО	ПС	ПО
400	0,958	0,9 <sup>37</sup>	0,042	0,0 <sup>33</sup>	0,048	0,094
390	0,934	0,9 <sup>33</sup>	0,066	0,0 <sup>37</sup>	0,043	0,088
380	0,917	0,999	0,083	0,001	0,038	0,082
370	0,856	0,997	0,144	0,003	0,034	0,076
360	0,800	0,994	0,200	0,006	0,030	0,071
350	0,732	0,986	0,268	0,014	0,027	0,065
340	0,655	0,977	0,345	0,023	0,022	0,060
330	0,570	0,955	0,430	0,045	0,018	0,051
320	0,481	0,933	0,519	0,067	0,016	0,049
310	0,394	0,903	0,606	0,097	0,014	0,043
300	0,312	0,841	0,688	0,159	0,011	0,038

290	0,238	0,766	0,762	0,234	0,009	0,033
280	0,175	0,682	0,825	0,318	0,006	0,029
270	0,124	0,590	0,876	0,410	0,004	0,024
260	0,084	0,490	0,916	0,510	0,004	0,020
250	0,054	0,382	0,946	0,618	0,003	0,016
240	0,034	0,300	0,966	0,700	0,002	0,013
230	0,021	0,212	0,979	0,788	0,001	0,010
220	0,012	0,159	0,988	0,841	0,001	0,007

Данные, приведенные в табл. 3, позволяют провести сравнительную оценку ПС и ПО по характеристикам надежности при фиксированной нагрузке в различном диапазоне нагрузок. Например, при нагрузке 300 сН вероятность отказов ПС в 2,70 раза меньше, чем ПО; надежность по прочности ПС в 4,33 раза выше, чем ПО; интенсивность отказов ПС в 3,45 раза меньше, чем ПО. Такая информация значительно расширяет возможность оценки показателей механических свойств пряжи. Эти данные могут использоваться при выборе режимов переработки.

Аналогичные расчеты были проведены для  $L_{\text{зак}}=300$  и 100 мм при фиксированной нагрузке и фиксированном удлинении для ПС и ПО.

Сравнивая между собой два вида исследуемой пряжи, можно отметить, что ПС имеет меньшую вероятность обрывов и интенсивность отказов по всему диапазону задаваемых нагрузок и деформаций для всех зажимных длин.

Располагая информацией о реальном поведении пряжи в процессе нагружения (данные по результатам исследования неразрывных характеристик – количество обрывов пряжи при заданной нагрузке и заданном удлинении), провели ее аналогию с теоретическими расчетами характеристик надежности (вероятность отказов (обрывов) пряжи при фиксированной нагрузке и фиксированном удлинении).

Фактические (QФ) и теоретические (QT) данные по обрывности ПС и ПО линейной плотности 29 текс представлены в таблицах: при фиксированной нагрузке (табл. 4) и при фиксированной деформации (табл. 5).

Таблица 4

$L_{\text{зак}}$ , мм	P – const, сН	ПС		ПО	
		QT	QФ	QT	QФ
100	280	3	4	27	21
	330	24	25	81	83
	380	66	64	99	100
300	270	2	0	24	20
	320	21	23	75	76
	370	66	63	98	100
500	250	5	3	38	41
	300	31	32	84	82
	350	73	71	99	95

Таблица 5

$L_{\text{зак}}$ , мм	$\varepsilon$ – const, %	ПС		ПО	
		QT	QФ	QT	QФ
100	7,6	4	5	42	38
	8,6	26	22	82	79
	9,6	66	63	98	99
300	7,0	1	4	44	42
	8,0	24	21	92	90
	9,0	76	79	100	100
500	5,0	0	1	21	20
	6,0	16	18	79	81
	7,0	76	77	99	99

Данные табл. 4 и табл. 5 отражают возможность использования характеристик надежности для прогнозирования обрывности. Сопоставив результаты, полученные при нахождении разрывных и неразрывных характеристик прочности пряжи при зажимной длине  $L_{\text{зак}}=100, 300$  и 500 мм, получаем следующее. Реальные данные QФ незначительно отличаются от теоретических расчетов QT. Вероятность разницы средних, рассчитанная с помощью критерия Стьюдента для доверительной вероятности  $p=0,95$ , не достоверна. В связи с этим представляется возможным прогнозирование поведения пряжи при растяжении по неразрывным полуцикловым характеристикам, как наиболее при-

ближенным к реальным условиям процессов переработки и эксплуатации.

## ВЫВОДЫ

В работе исследовались неразрывные полуцикловые характеристики, которые больше отвечают реальным условиям переработки нитей, когда испытываемые ими нагрузки и деформации меньше разрывных. По полученным результатам можно отметить рост нагрузки при увеличении фиксированного удлинения и рост удлинения при увеличении фиксируемой нагрузки. Темп роста нагрузки в среднем составляет для ПС 0,28, для ПО 0,12. Темп роста удлинения в среднем составляет для ПС 0,23, для ПО 0,18.

Исследованы вероятностные характеристики надежности механических свойств пряжи (пряжа ПС имеет меньшую вероятность обрывов и интенсивность отказов по всему диапазону задаваемых нагрузок для всех зажимных длин).

На основании анализа реальных данных и теоретических расчетов характеристик надежности возможно прогнозирование поведения пряжи при растяжении по неразрывным полуцикловым характеристикам, как наиболее приближенным к реальным условиям процессов переработки и эксплуатации.

## 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. 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 промышленности, 1984.
5. Соловьев А.Н., Кирюхин С.М. Оценка качества и стандартизация текстильных материалов. М.: Легкая индустрия, 1974.
6. Кирюхин С.М., Плеханова С.В. Оценка, контроль и управление качеством текстильных матери-

алов / под общей ред. С.М. Кирюхина. СПб.: Лань, 2022.

7. Кирюхин С.М., Шустов Ю.С. Текстильное материаловедение. М.: КолосС, 2011.

8. Шустов Ю.С., Кирюхин С.М., Давыдов А.Ф. и др. Текстильное материаловедение. М.: ИНФРА-М, 2021.

9. Кирюхин С.М., Плеханова С.В., Плеханов А.Ф., Виноградова Н.А. Исследование характеристик прочности хлопчатобумажной пряжи из вторичного сырья // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. 2022. № 3. С. 123...129.

10. Кирюхин С.М., Плеханова С.В. Экспертные методы при оценке качества тканей // Дизайн и технологии. 2019. № 71. С. 63...70.

## REFERENCES

1. Gusev B.N., Matrokhin A.Yu. Textile materials science before the technological breakthrough // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstilnoi Promyshlennosti. 2016. №1. P. 42...47.
2. Gusev B.N., Matrokhin A.Yu. Material science: traditions, achievements, prospects // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstilnoi Promyshlennosti. 2018. №4. P. 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. Soloviev A.N., Kiryukhin S.M. Quality assessment and standardization of textile materials. M.: Light industry, 1974.
6. Kiryukhin S.M., Plekhanova S.V. Assessment, control and quality management of textile materials: a textbook for universities / under the general editorship of S.M. Kiryukhin. St. Petersburg: Lan, 2022. 432 p.
7. Kiryukhin S.M., Shustov Yu.S. Textile materials science. M.: KolosS, 2011.
8. Shustov Yu.S., Kiryukhin S.M., Davydov A.F. et al. Textile materials science: laboratory workshop. M.: INFRA-M, 2021.
9. Kiryukhin S.M., Plekhanova S.V., Plekhanov A.F., Vinogradova N.A. Investigation of the strength characteristics of cotton yarn from secondary raw materials // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstilnoi Promyshlennosti. 2022. №3. P. 123...129.
10. Kiryukhin S.M., Plekhanova S.V. Expert methods in assessing the quality of fabrics // Design and technology. 2019, №71. P. 63...70.

Рекомендована кафедрой материаловедения и товарной экспертизы РГУ им. А.Н. Косыгина. Поступила 03.03.23.