

УДК 677.017.7

DOI 10.47367/0021-3497\_2023\_3\_125

**К ВОПРОСУ ОЦЕНКИ НАПРЯЖЕННОСТИ ПРОТЕКАНИЯ  
ПРОЦЕССА ТКАЧЕСТВА ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ПОЛИИМИДНЫХ НИТЕЙ**

**ON THE ISSUE OF ASSESSING THE STRESSFULITY  
OF THE WEAVING PROCESS WHEN USING POLYIMIDE THREADS**

*П.Е. САФОНОВ<sup>1</sup>, С.С. ЮХИН<sup>2</sup>*

*P.E. SAFONOV<sup>1</sup>, S.S. YUKHIN<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>ООО «ТЕКС-ЦЕНТР»,

<sup>2</sup>Российский государственный университет им. А.Н. Косыгина (Технологии. Дизайн. Искусство))

<sup>1</sup>TEKS-CENTRE Ltd,

<sup>2</sup>Russian State University named after A.N. Kosygin (Technologies. Design. Art))

E-mail: info@teks-centre.ru, pavlin722007@yandex.ru

*Исследование посвящено вопросу оценки ресурса полиимидных нитей Аримид в ткачестве. Впервые из опытов с постоянной скоростью нагружения определены параметры степенного закона долговечности нитей Аримид ( $B$  и  $b$ ), что позволяет прогнозировать их повреждаемость. На основании расчета одного из критериев повреждаемости с учетом реального закона нагружения показано, что нити Аримид в процессе ленточного снования и ткачества на челночных и бесчелночных станках исчерпывают лишь часть своего ресурса, причем наибольшая повреждаемость характерна для станков системы СТБ в моменты зевообразования. Однако установлено, что комплексные нити Аримид в сравнении со многими другими нитями (в частности арамидными) перерабатываются значительно хуже, наблюдается разволокнение нити с образованием шишек и залипанием нитей в зева. Для облегчения переработки нитей Аримид предлагается обрабатывать их специальными синтетическими шлихтующими препаратами, наносимыми в процессе снования на машинах ленточного типа.*

*The study is devoted to the issue of assessing the resource of polyimide threads (Arimid) in weaving. For the first time, from experiments with a constant loading rate, the parameters of the power law of the durability of Arimid threads ( $B$  and  $b$ ) were determined, which makes it possible to predict their damage. Based on the calculation of one of the damage criteria, taking into account the real loading law, it is shown that Arimid threads in the process of belt warping and weaving on shuttle and shuttleless looms exhaust only part of their resource, and the greatest damage is characteristic of STB machines at the moments of shedding. However, it has*

*been found that Arimid threads, in comparison with many other threads (in particular aramid), are processed much worse, there is a loosening of the thread with the formation of knobs and sticking of the threads in the shed. To facilitate the processing of Arimid threads, it is proposed to process them with special synthetic dressing preparations applied during warping machines.*

**Ключевые слова:** ресурс нити, полиимиды, Аримид, перерабатывающая способность.

**Keywords:** thread resource, polyimides, Arimide, weavability

Настоящая работа проводилась с целью изучения особенностей технологии переработки термостойких полиимидных нитей Аримид в условиях ткацкого производства и оценки их ресурса в условиях снования и ткачества.

Полиимиды являются циклоцепными полимерами с макромолекулами из чередующихся ароматических и гетероциклов, они могут быть эффективно использованы в качестве полимерной основы конструкций с высокой температурой эксплуатации, так как отличаются высокой деформационной устойчивостью при нагреве (теплостойкость) и химической устойчивостью при нагреве (термостойкость) [1, 2]. Нити Аримид находят применение при изготовлении изделий, эксплуатируемых в условиях воздействия повышенной радиации и температуры (в том числе в условиях открытого космического пространства), а также открытого пламени, и являются на сегодняшний день одними из самых термо-, тепло- и огнестойких синтетических материалов отечественного производства.

Полиимидные нити Аримид имеют предельную температуру длительной эксплуатации порядка 270-320°C, температуру стеклования 360-380°C, температуру плавления 550°C, разложения 420-450°C. Сохранение прочности нитей Аримид при температуре 300°C составляет не менее 55-65%, кислородный индекс 48-50% [3]. Удельная плотность полиимидного волокна составляет 1,41-1,58 г/см<sup>3</sup> [4], удельная разрывная нагрузка нити Аримид 45-60 сН/текс, удлинение при разрыве 10-14%, модуль упругости нити 10-13 ГПа.

Из полиимидных нитей линейной плотности 6,3, 11,1, 14,3, 29,4 и 58,8 текс

производства ООО «ЛИРСОТ» г. Мытищи в условиях экспериментально-опытного производства ООО «ТЕКС-ЦЕНТР» г. Москвы в разное время вырабатывались ткани разнообразных структур с поверхностной плотностью от 8,5 до 180 г/м<sup>2</sup>. Основное назначение разработанной линейки тканей – использование в элементах пассивной системы терморегулирования космических аппаратов (экранно-вакуумная теплоизоляция, ЭВТИ).

Необходимо отметить, что полиимидные нити имеют высокую стоимость, поэтому их использование целесообразно только в тех случаях, когда другие синтетические нити не выдерживают условий эксплуатации (например, условия космического пространства).

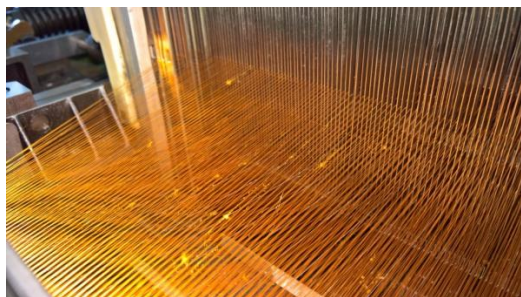
Из работ [5, 6] известно о сложностях, возникающих при переработке в ткачестве комплексных параарамидных нитей (Русар, Руслан и др.). В первую очередь переработчики высокопрочных и высокомодульных арамидных нитей сталкиваются с явлением снижения свойств (разрывная нагрузка, разрывное удлинение и работа разрыва) нитей по переходам приготовительного и ткацкого производства, что не позволяет полностью реализовать их высочайшие прочностные характеристики в структурах защитных тканей (бронезилеты, бронешлемы). Это приводит к вытеснению арамидных тканей неткаными структурами, полученными способом намотки на заданную оправку или выкладки прямолинейно ориентированных арамидных или СВМПЭ нитей под различными углами с последующей пропиткой связующим или иным способом соединения [7].

При этом в отечественной и зарубежной литературе фактически отсутствуют сведения об особенностях переработки в ткачестве других синтетических комплексных нитей специального назначения: полиимидных (Аримид), метаарамидных (Фенилон, Номекс), полиэфирэфиркетонных (ПЭЭК/РЕЕК), полифениленсульфидных (ПФС/PPS), нитей сверхвысокомолекулярного полиэтилена (СВМПЭ/UHMWPE), фторсодержащих нитей (Фторин, Фторлон, Полифен) и др. А задача по оценке ресурса (степени поврежденности) перечисленных материалов не рассматривалась вовсе.

На основании многолетнего опыта переработки в ткачестве различных видов комплексных синтетических нитей установлено, что наиболее напряженные условия протекания технологического процесса наблю-

даются именно при переработке нитей Аримид (производитель нити ООО «ЛИРСОТ»). При этом часто вопрос стоит не о максимальном сохранении свойств нитей по переходам производства, как у параарамидных нитей, а о принципиальной возможности изготовления ткани.

На рис. 1 представлены фотографии, демонстрирующие проблемы, возникающие при изготовлении тканей из нитей Аримид на челночных и бесчелночных станках. Наблюдается мшение нитей с образованием крупных шишек, которые не проходят через зубья берда и тем самым вызывают обрывность. Разволокненные основные нити также перепутываются и слипаются в задней части зева, что приводит к обрыву целой группы нитей одновременно.



а)



б)

Рис. 1

На рис. 2 представлены фотографии, свидетельствующие о том, что разволокнение нитей наблюдается уже в процессе ленточного снования, а в некоторых случаях дефектные участки нитей находятся внутри заводских паковок. При этом облегчить процесс переработки нитей Аримид позволяет лишь использование специ-

альных синтетических шлихтующих препаратов (холодная шлихта), которые предлагаются наносить в процессе снования (рис. 3) и/или непосредственно на ткацком станке, что позволяет подклеить отдельные филаменты, придать нити требуемую компактность.

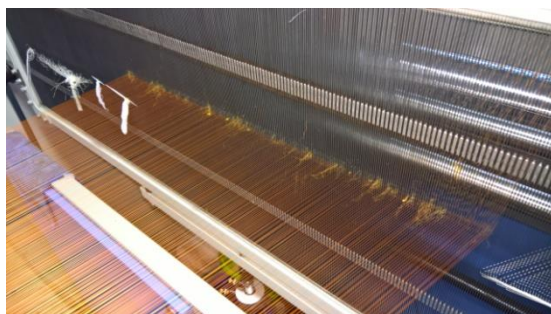


Рис. 2



Рис. 3

Обозначив круг проблем, возникающих при переработке нитей Аримид, далее оценим их ресурс (степень повреждаемости).

Вопросу оценки перерабатывающей способности нитей в ткацком производстве уделялось особое внимание в работах проф. В.П. Щербакова [8, 9] и проф. С.Д. Николаева [10, 11]. Авторами предложено для оценки ресурса нити в процессе ткачества производить расчет одного из критериев (коэффициентов) повреждаемости.

Для оценки ресурса основы в ткачестве целесообразно пользоваться выражением повреждаемости как функции от времени, учитывающим трапецевидное (зевобразное) и пилообразное (прибой) нагружение нити основы на станке. Данный подход был развит в работах проф.

В.П. Щербакова [8] с учетом нелинейного принципа суммирования повреждений в интеграле Бейли [12].

При нелинейном суммировании повреждений функция повреждаемости  $\omega(t)$  после  $N$  циклов не может быть представлена как произведение повреждаемости за один цикл на  $N$  циклов, в отличие от линейного принципа суммирования в интеграле Бейли. В.В. Москвитинным было получено соотношение нелинейной вязкоупругости, учитывающее предысторию нагружения (степень накопленных повреждений) материала [12].

Приведем выражение для функции повреждаемости нити основы, полученное проф. В.П. Щербаковым на основе выводов В.В. Москвитина:

$$\omega(t) = \frac{1}{B^{\frac{1}{b}}} \cdot \left[ \frac{2f(N)}{1 + \frac{1}{b}} \left[ (\sigma_2 - \sigma_1) P_z^{\frac{1}{b}} + (\sigma_3 - \sigma_1) P_p^{\frac{1}{b}} \right] + \sigma_1 (t_{\Sigma} - N t_{zv})^{\frac{1}{b}} + \sigma_2 N^{\frac{1}{b}} t_{zv}^{\frac{1}{b}} \right]; \quad (1)$$

$$f(N) = \left[ 1 - \frac{1}{2^{\frac{1}{b}}} + \frac{2N^{2+\frac{1}{b}} + (N+1)^{2+\frac{1}{b}} - 2 - 2^{2+\frac{1}{b}} + \frac{2}{2^{2+\frac{1}{b}}}}{2(2+\frac{1}{b})} + \frac{-2(N-0.5)^{2+\frac{1}{b}} + 2(1.5)^{2+\frac{1}{b}} - 2(N+0.5)^{2+\frac{1}{b}} + (N-1)^{2+\frac{1}{b}}}{2(2+\frac{1}{b})} \right]; \quad (2)$$

При выводе выражений (1) и (2) предполагается, что закон долговечности нити имеет вид степенной функции:

$$t_* = B \sigma_0^{-b}; \quad (3)$$

где  $t_*$  – время до разрушения, с;  $\sigma_0$  – приложенное напряжение, кгс/мм<sup>2</sup>;  $B$  и  $b$  – параметры материала нити.

Для оценки степени поврежденности нити согласно выражению (1) необходимо, воспользовавшись реальным законом ее нагружения на станке, определить значения  $\sigma_1$ ,  $\sigma_2$  и  $\sigma_3$  (напряжение при заступе, выстое ремизки и прибое соответственно),  $P_p$ ,  $P_z$  и  $t_{zv}$  (время прибоа, время подъема/опускания ремизки, время выстоя ремизки соответственно), общее время нагружения нити  $t_{\Sigma}$  при движении от навоя до опушки ткани и число циклов нагружения  $N$ , а также определить параметры долговечности нити  $B$  и  $b$  (константы материала).

Зная параметр  $b$ , можно вычислить показатель нелинейности в предельном соотношении Москвитина:

$$m = \frac{1}{b} - 1. \quad (4)$$

Вопросу определения параметров  $B$  и  $b$  степенного закона долговечности нити посвящены исследования [13-15]. Параметры долговечности нити определялись при трех уровнях скорости нагружения  $\dot{\sigma}(t) = \text{const}$  на приборе STATIGRAPH (TEXTECHNO) [15]. Испытания предложено проводить таким образом, чтобы разрушающее напряжение нити определялось при трех различных скоростях нагружения, при этом фиксировалось время до разрушения. Тогда, используя метод наименьших квадратов, можно вычислить параметры долговечности исходя из следующего условия:

$$\sum_{i=1}^n (t_{*i} - B \sigma_{0i}^{-b})^2 \rightarrow \min. \quad (5)$$

Для нитей Аримид линейной плотности 11,1 текс и 29,4 текс из опытов с постоянной скоростью нагружения  $\dot{\sigma}(t) = \text{const}$

получены следующие значения параметров долговечности (табл. 1):

Таблица 1

Линейная плотность, текс	Крутка, кр./м	Параметры долговечности нити Аримид		
		B	b	m
11,1	180	$1,89 \times 10^{36}$	18,07	-0,945
29,4	180	$8,53 \times 10^{45}$	23,28	-0,957

На рис. 4 представлена экспериментальная кривая долговечности нити Аримид 29,4 текс.

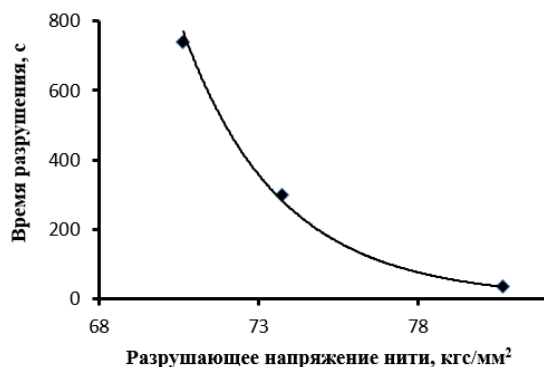


Рис. 4

Теперь произведем расчет повреждаемости нити Аримид в процессе ленточного снования. Примем, что снование ленты на

барaban происходит в условиях постоянного напряжения [16]. Тогда критерий повреждаемости примет вид:

$$\eta = \frac{t^{m+1} \cdot \sigma^{b(1+m)}}{B^{1+m}} \quad (6)$$

В табл. 2 представлены результаты расчета повреждаемости нитей Аримид при сновании на ленточной машине HF988С. Время нагружения нити в секундах рассчитывалось по формуле:

$$t_{\text{сн.ов.}} = \frac{L_0 \cdot 60}{V_{\text{сн.ов.}}} \quad (7)$$

где  $L_0$  – длина нити в заправке машины, м;  $V_{\text{сн.ов.}}$  – скорость снования, 150 м/мин.

Таблица 2

Положение нити в ставке шпулярика	Длина нити в заправке, м	Максимальное напряжение, кгс/мм²	Время нагружения нити, с	Критерий повреждаемости $\eta$
Аримид 11,1 текс				
1-й ряд	7	17,66	2,8	0,185
20-й ряд	12	16,83	4,8	0,182
Аримид 29,4 текс				
1-й ряд	7	5,09	2,8	0,056
20-й ряд	12	3,76	4,8	0,043

Обратим внимание на то, что длина нити в заправке машины для паковок с 1 и 20 вертикальных рядов существенно различается: длина нити в заправке с 1-го вертикального ряда составляет 7 м, а нити с 20-го вертикального ряда – 12 м.

Из данных табл. 2 следует, что уровень повреждаемости при сновании нитей 11,1 текс почти в 4 раза больше, чем нитей 29,4 текс. Повреждаемость нитей Аримид 11,1 текс удастся снизить до  $\eta=0,067$  путем удаления грузовой шайбы в трехзонном натяжном приборе шпулярика.

Также установлено, что в целом повреждаемость аримидных нитей в процессе снования имеет низкие значения ( $\eta \ll 1$ ). Процесс ленточного снования должен протекать при благоприятных условиях, обрывы могут быть вызваны только вследствие развязывания узлов или из-за непрохождения утолщенных участков нити через направляющие глазки, зубья ценового или суппортного берда.

Далее исследуем повреждаемость полиимидных нитей на ткацком станке при изготовлении тканей различных структур.

Для расчета повреждаемости нити основы воспользуемся выражениями (1) и (2).

Можно также привести выражения для расчета функции повреждаемости основы

$$\omega_{zv}(t) = \frac{1}{B\bar{b}} \left[ f(N) \frac{2(\sigma_2 - \sigma_1)\Pi_z \bar{b}^{\frac{1}{b}}}{1 + \frac{1}{b}} + \sigma_1 N^{\frac{1}{b}} \Pi_z \bar{b}^{\frac{1}{b}} + \sigma_2 N^{\frac{1}{b}} t_{zv} \bar{b}^{\frac{1}{b}} \right], \quad (8)$$

$$\omega_p(t) = \frac{1}{B\bar{b}} \left[ f(N) \frac{2(\sigma_3 - \sigma_1)\Pi_p \bar{b}^{\frac{1}{b}}}{1 + \frac{1}{b}} + \sigma_1 N^{\frac{1}{b}} \Pi_p \bar{b}^{\frac{1}{b}} \right]. \quad (9)$$

Для численного расчета функции повреждаемости нити основы в процессе ткачества необходимо воспользоваться реальным законом нагружения на станке. На рис. 5 представлена одна из экспериментальных тензограмм натяжения основы.

В табл. 3 и 4 приведены параметры закона нагружения арамидных нитей 11,1 и 29,4 текс при формировании тканей различных структур и результаты расчета функции повреждаемости соответственно. Скорость работы станков во всех случаях составляла 130-150 об/мин.

при зевобразовании (трапецевидное нагружение) и прибое (пилообразное нагружение) соответственно:

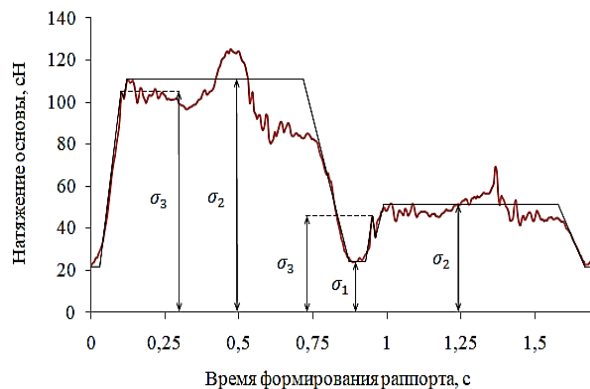


Рис. 5

Таблица 3

Переплетение	Тип станка	Плотность по утку, нит./см	Линейная плотность нити, текс	Общее время нагружения, с	Значения напряжения, кгс/мм <sup>2</sup>			Продолжительность воздействий, с		
					σ <sub>1</sub>	σ <sub>2</sub>	σ <sub>3</sub>	Π <sub>p</sub>	Π <sub>z</sub>	t <sub>zv</sub>
Плотняное	челночный	10	11,1	607	8,2	11,5	10,3	0,0303	0,0242	0,3258
Саржа 2/2	СТБ	40	11,1	2547	3,2	16,5	12,4	0,025	0,0625	0,65
Саржа 1/2	челночный	40	11,1	2392	0,2	4,2	3,3	0,0262	0,0525	0,6545
Саржа 1/2	челночный	22	29,4	1307	0,7	3,8	3,4	0,037	0,0509	0,5926
Плотняное	челночный	17	29,4	1003	0,4	1,7	4,0	0,0226	0,0516	0,2677
Саржа 1/2	челночный	24	29,4	1415	1,2	3,8	5,5	0,04	0,08	0,47

Таблица 4

Переплетение	Тип станка	Плотность по утку, нит./см	Линейная плотность нити, текс	Результаты расчета повреждаемости		
				ω <sub>zv</sub> (t)	ω <sub>p</sub> (t)	ω(t)
Плотняное	челночный	10	11,1	0,264	0,104	0,278
Саржа 2/2	СТБ	40	11,1	0,314	0,070	0,349
Саржа 1/2	челночный	40	11,1	0,075	0,012	0,085
Саржа 1/2	челночный	22	29,4	0,069	0,016	0,077
Плотняное	челночный	17	29,4	0,032	0,013	0,040
Саржа 1/2	челночный	24	29,4	0,075	0,026	0,086

При анализе данных табл. 3 и 4 установлено, что при переработке в ткачестве нитей Арамид будет исчерпана лишь не-

значительная часть их ресурса, так как расчетные значения функции повреждаемости ω(t) < 1. При этом наиболее высо-

кий уровень повреждаемости наблюдается при выработке ткани на станке системы СТБ (арт. 56420: переплетение саржа 2/2, линейная плотность основы и утка 11,1 текс, плотность по основе и утку 40 нитей/см).

Установлено также, что повреждаемость вследствие прибоа ( $\omega_p$ ) намного меньше повреждаемости, вызванной зевобразованием ( $\omega_{zv}$ ). Это связано с тем, что продолжительность процесса зевобразования гораздо больше продолжительности прибоа.

## ВЫВОДЫ

Впервые сформулирован круг проблем, возникающих в процессе переработки в ткачестве полиимидных нитей Аримид отечественного производства. Показано, что нити Аримид по переходам приготовительного и ткацкого производства разволокняются с образованием «шишек», что крайне затрудняет их переработку и негативно влияет на внешний вид тканей.

Для облегчения переработки нитей Аримид предлагается обрабатывать их специальными синтетическими шлихтующими препаратами типа холодной шлихты в процессе снования на машинах ленточного типа.

Впервые определены параметры степенного закона долговечности нитей Аримид (В и b), что позволяет прогнозировать их повреждаемость.

Произведена оценка ресурса нитей Аримид в процессе ленточного снования. Установлено, что полиимидная нить в процессе снования исчерпывает лишь малую часть своего ресурса ( $\eta \ll 1$ ), причем с уменьшением толщины нити в 3 раза повреждаемость может увеличиться в 4 раза.

С учетом реального закона нагружения нитей Аримид на челночных и бесчелночных станках установлено, что в ткачестве будет исчерпана лишь часть ресурса основы, так как  $\omega(t) < 1$ . Наиболее высокий уровень повреждаемости наблюдается при выработке ткани на станке системы СТБ, при этом наибольший вклад в повреждаемость основы вносит процесс зевобразования.

1. Мусина Т.К., Волохина А.В., Щетинин А.М., Оприц З.Г., Ивашова В.А., Кия-Оглу В.Н., Педченко Н.В. Полиимидные и арамидные волокна и нити со специальными свойствами и изделия на их основе // В мире оборудования. 2010. № 2 (91). С. 4...8.

2. Михайлин Ю.А. Тепло-, термо- и огнестойкость полимерных материалов. СПб.: Научные основы и технологии, 2011. 416 с.

3. Перепелкин К.Е. Армирующие волокна и волокнистые полимерные композиты. СПб.: Научные основы и технологии, 2009. 380 с.

4. Сазанов Ю.Н., Грибанов А.В. Карбонизация полимеров. СПб.: Научные основы и технологии, 2013. 296 с.

5. Юхин С.С., Николаев С.Д., Рыбаулина И.В., Сафонов П.Е. Особенности переработки арамидных нитей и пряжи в ткачестве: монография. М.: МГУДТ, 2015. 174 с.

6. Сафонов П.Е. Разработка оптимальных технологических параметров изготовления арамидных тканей технического назначения: дис. ... канд. техн. наук. М.: МГУДТ, 2013. 358 с.

7. Ahmad M.R., Hassim N., Ahmad W.Y.W., Sam-suri A., Yahya M.H.M. Preliminary Investigation on the Ballistic Limit of Ultra High Molecular Weight Polyethylene Unidirectional Coated Fabric System // FIBRES AND TEXTILES in Eastern Europe. 2013. Vol. 21. № 3 (99). Pp. 89...94.

8. Щербаков В.П., Скуланова Н.С. Основы теории деформирования и прочности текстильных материалов: монография. М.: МГТУ им. А.Н. Косыгина, 2008. 268 с.

9. Щербаков В.П., Болотный А.П., Цыганов И.Б., Щербакова Т.И. Вычисление критериев длительной прочности при нагружении нити основы на ткацком станке // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. 2011. № 6. С. 129...135.

10. Николаев С.Д. Прогнозирование технологических параметров изготовления тканей заданного строения и разработка методов их расчета: дис. ... д-ра техн. наук. М.: МТИ, 1988. 470 с.

11. Слугин А.И. Оценка напряженности заправки тканей из арамидной пряжи на ткацком станке // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. 2008. № 2С (307). С. 70...72.

12. Москвитин В.В. Сопротивление вязкоупругих материалов (применительно к зарядам ракетных двигателей на твердом топливе). М.: Наука, Главная редакция физико-математической литературы, 1972. 328 с.

13. Щербаков В.П., Цыганов И.Б., Полякова Т.И., Болотный А.П. Экспериментальное определение и расчет параметров долговечности в критериях прочности // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. 2010. № 2. С. 126...130.

14. Егоров Н.В., Щербаков В.П. Исследования свойств нитей Русар для изготовления технических тканей // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. 2010. № 6 (327). С. 26...28.

15. Сафонов П.Е., Юхин С.С. Определение параметров закона долговечности нитей специального назначения из опытов с постоянной скоростью нагружения // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. 2017. № 6 (372). С. 152...157.

16. Сафонов П.Е., Федорова Е.Е., Юхин С.С. Расчет повреждаемости арамидных нитей в процессе снования // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. 2012. № 5. С. 74...76.

#### REFERENCES

1. Musina T.K., Volokhina A.V., Shchetinin A.M., Oprits Z.G., Ivashova V.A., Kiya-Oglu V.N., Pedchenko N.V. Polyimide and aramid fibers and threads with special properties and products based on them // In the world of equipment. 2010. No. 2 (91). Pp. 4-8.

2. Mikhailin Yu.A. Heat, thermo and fire resistance of polymer materials. St. Petersburg: Scientific foundations and Technologies, 2011. 416 p.

3. Perepelkin K.E. Reinforcing fibers and fibrous polymer composites. St. Petersburg: Scientific foundations and Technologies, 2009. 380 p.

4. Sazanov Yu.N., Griбанov A.V. Carbonization of polymers. St. Petersburg: Scientific foundations and technologies, 2013. 296 p.

5. Yukhin S.S., Nikolaev S.D., Rybaulina I.V., Safonov P.E. Features of processing aramid threads and yarn in weaving. M.: MGUDT, 2015. 174 p.

6. Safonov P.E. Development of optimal technological parameters for the manufacture of aramid fabrics for technical purposes. M.: MGUDT, 2013. 358 p.

7. Ahmad M.R., Hassim N., Ahmad W.Y.W., Sam-suri A., Yahya M.H.M. Preliminary Investigation on the Ballistic Limit of Ultra High Molecular Weight Polyethylene Unidirectional Coated Fabric System // FIBERS AND TEXTILES in Eastern Europe. 2013. Vol. 21. No. 3 (99). Pp. 89...94.

8. Shcherbakov V.P., Skulanova N.S. Fundamentals of the theory of deformation and strength of textile materials. M.: Kosygin Moscow State Technical University, 2008. 268 p.

9. Shcherbakov V.P., Bolotny A.P., Tsyganov I.B., Shcherbakova T.I. Calculation of criteria for long-term strength when loading the warp thread on a loom //

Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. 2011. No. 6. Pp. 129...135.

10. Nikolaev S.D. Forecasting of technological parameters of fabric production of a given structure and development of methods for their calculation. M.: MTI, 1988. 470 p.

11. Slugin Alexey I. Assessment of the intensity of filling fabrics from aramid yarn on a loom // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. 2008. No. 2C (307). Pp. 70-72.

12. Moskvitin V.V. Resistance of viscoelastic materials (in relation to charges of rocket engines on solid fuel). – M.: Publishing house "Science", the main edition of the physical and mathematical literature, 1972. 328 p.

13. Shcherbakov V.P., Tsyganov I.B., Polyakova T.I., Bolotny A.P. Experimental determination and calculation of durability parameters in strength criteria // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. 2010. No. 2. Pp. 126-130.

14. Egorov N.V., Shcherbakov V.P. Studies of the properties of Rusar threads for the manufacture of technical fabrics // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. 2010. № 6 (327). Pp. 26-28.

15. Safonov P.E., Yukhin S.S. Determination of the parameters of the law of durability of special purpose threads based on the results of experiments with a constant loading rate // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. 2017. № 6 (372). Pp. 152-157.

16. Safonov P.E., Fedorova E.E., Yukhin S.S. Calculation of damage to aramid threads during warping // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. 2012. No. 5. Pp. 74-76.

Рекомендована кафедрой проектирования и художественного оформления текстильных изделий РГУ им. А.Н.Косыгина (Технологии. Дизайн. Искусство). Поступила 13.03.23.