

УДК 620.172.2:677.2

ОСОБЕННОСТИ ИСПЫТАНИЯ НА РАСТЯЖЕНИЕ АРАМИДНЫХ НИТЕЙ

© А. Д. Перечесова^{1,2}, Г. А. Соловьева²*Статья поступила 22 июля 2015 г.*

Работа посвящена проблеме экспериментального определения физико-механических характеристик арамидных торсионов ($D = 0,046$ мм). В России испытания арамидных нитей проводят согласно ГОСТ 6611.2–73. При разработке указанного стандарта арамидные нити в стране не применялись. Исследованы действующие международные стандарты, которые используются для испытаний на растяжение арамидных нитей, и как наиболее современный выделен ASTM D7269/D7269M-11. Проанализированы основные положения методов ГОСТ 6611.2–73 и ASTM D7269/D7269M-11, сделаны соответствующие заключения.

Ключевые слова: метод испытания; разрывная нагрузка; предел прочности при разрыве; относительное удлинение при разрыве; модуль упругости; микрофиламентные арамидные нити; торсион; испытание на растяжение.

В настоящее время предъявляют высокие требования к датчикам и другим приборам. Улучшение их метрологических характеристик и показателей надежности требует повышения качества упругих элементов. В Санкт-Петербургском филиале ФГБУН Института земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн им. Н. В. Пушкова РАН (СПбФ ИЗМИРАН) разработан торсион, состоящий из трех микрофиламентов арамидных нитей диаметром 0,016 мм, сплетенных с помощью устройства для изготовления торсионных подвесов приборов [1].

По данным оптических исследований геометрии арамидных нитей, проведенных с помощью микровизора μ Vizo-MET-222 (ОАО «ЛОМО», Россия) и микроскопа Meiji Techno IM7200 (Meiji Techno CO., Ltd, Япония), упругий торсионный подвес представляет собой спирально-анизотропный стержень в виде косы. Плотность плетения — 7 узлов/мм. Огибающая попе-

речного сечения упругого торсионного подвеса представляет собой эллипс с большей и меньшей осями, равными 0,046 и 0,033 мм; рабочая длина подвеса — 100 мм. На рис. 1 приведены фотографии, полученные с помощью микроскопа Meiji Techno IM7200. Оптическое исследование структуры образцов торсионов проводили в лаборатории «Электронной микроскопии и физико-технологических исследований» Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого (СПбПУ) [2].

Проблема качественного изготовления торсионов с заданными характеристиками была исследована и решена в работах [2 – 7], в 2014 г. получен патент РФ на изобретение [1].

Внедрение спирально-анизотропных арамидных торсионных подвесов с новыми характеристиками в геофизический комплекс GI-MTS-1 (СПбФ ИЗМИРАН) [8, 9] (рис. 2) позволило повысить чувствительность (с точки зрения исследований в области магнитометрии) в пять раз — до 1 рТл/Гц^{1/2}, устойчивость к изменению климатических факторов, временную стабильность (уменьшить температурный дрейф нуля) и устойчивость к динамическим нагрузкам при проведении измерений магнитного, электрического поля и сейсмических колебаний. Все это расширило спектр

¹ Санкт-Петербургский филиал Института земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн им. Н. В. Пушкова РАН, Санкт-Петербург, Россия;
e-mail: perechesova@gmail.com

² Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики, Санкт-Петербург, Россия.

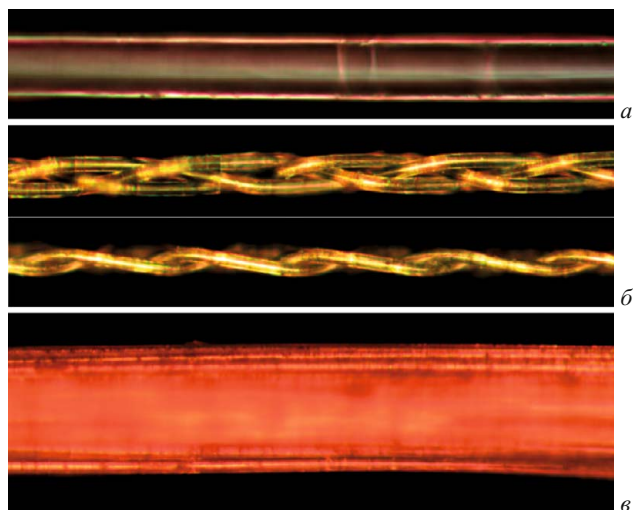


Рис. 1. Фотографии одного микрофиламента арамидных нитей, $\times 400$ (а), торсиона в двух проекциях, $\times 160$ (б) и нити линейной плотности, 6,3 текс, $\times 80$ (в)

таких решаемых геофизических задач, как мониторинг электромагнитных условий в обсерваториях, электромагнитное зондирование земной коры в полевых условиях (размещение вне помещения), прогноз и определение локализации ионосферных и литосферных источников геомагнитных возмущений.

Спирально-анизотропные арамидные торсионные подвесы могут найти применение не только в магнитометрии, но и в сейсмологии, геодезии, метеорологии, электротехнике и других областях, т.е. использоваться для производства торсионов чувствительных элементов высокочувствительных акселерометров, сейсмометров, наклономеров, микробарографов, гальванометров, в датчиках охранной сигнализации и других приборах. Для усовершенствования торсионных приборов необходимо знание физико-механических характеристик торсиона.

Экспериментальное определение физико-механических характеристик арамидных спирально-анизотропных торсионов планируется провести на кафедре Мехатроники Университета ИТМО с помощью испытательной машины AGS500NX Shimadzu (Shimadzu Corporation, Япония), универсальной разрывной машины настольного типа для физико-механических испытаний различных материалов. Данные будут обработаны с помощью программного обеспечения для проведения испытаний материалов “Trapezium Lite X” (Shimadzu Corporation, Япония). С учетом малых размеров образцов для проведения испытаний спроектированы и изготовлены специальные захваты с диаметром кнехта менее 20 мм. Кнехтовые захваты предназначены для испытаний нитей, веревок, проволок и подобных типов образцов. Образец оборачивается вокруг кнехта и затем зажимается, этим достигается равномерное распределение приложенной нагрузки без образования локализации напряжений.



Рис. 2. Внешний вид комплекса GI-MTS-1

Для проведения испытаний на растяжение арамидных материалов необходимо использовать соответствующий метод. Арамидные нити применяют в производстве продукции специального назначения, подверженной высоким статическим и динамическим нагрузкам. В России испытания данных нитей проводят согласно ГОСТ 6611.2–73 «Нити текстильные. Методы определения разрывной нагрузки и удлинения при разрыве». Он регламентирует продолжительность процесса растяжения нити до разрыва — 20 ± 3 с. Когда разрабатывался указанный стандарт (1973 г.), арамидных нитей в стране не было (в промышленном масштабе они производятся с 1978 г.), следовательно, для данных нитей [10] длительность растяжения никак не обоснована. В публикациях [11, 12] также отмечается большое значение скорости растяжения при тестировании нитевидных материалов.

В данной работе рассмотрена проблема экспериментального определения физико-механических характеристик спирально-анизотропных арамидных торсионов и арамидных нитей, выбран актуальный метод испытания на растяжение. Проведен анализ основных положений методов ГОСТ 6611.2–73 и ASTM D7269/D7269M-11.

Известны следующие крупные зарубежные организации, занимающиеся разработкой стандартов для определения физико-механических характеристик арамидных нитей: ISO (International Organization for Standardization) — крупнейший в мире разработчик добровольных Международных Стандартов; BSI (British Standards Institution) — Британский институт стандартов; DIN (Deutsches Institut für Normung) — Немецкий институт по стандартизации; ASTM International (American Society for Testing and Materials) — Американское общество специалистов по испытаниям и материалам; SAE International (Society of Automotive Engineers) — Международная ассоциация автомобилестроения; ASME (American Society of Mechanical Engineers) — Американское общество инженеров-механиков; API (American Petroleum Institute) — Амери-

канский институт нефти; JIS (Japan Industrial Standards) — Японские промышленные стандарты.

Найдены действующие стандарты, разработанные указанными организациями, которые применимы для определения физико-механических характеристик арамидных нитей (методы испытания на растяжение):

ISO 2307:2010. Канаты из волокон — определение некоторых физических и механических свойств (Fibre ropes — Determination of certain physical and mechanical properties);

ISO 5079:1995. Волокна текстильные — определение разрывного усилия и относительного удлинения при разрыве одиночных волокон (Textile fibres — Determination of breaking force and elongation at break of individual fibres);

ISO 2062:2009. Текстиль — пряжа в паковках — определение разрывного усилия и относительного удлинения при разрыве одиночной нити с применением прибора для испытания на растяжение с постоянной скоростью (CRE) (Textiles — Yarns from packages — Determination of single-end breaking force and elongation at break using constant rate of extension (CRE) tester);

BS EN 13003-2:1999. Нити из параарамидных волокон. Методы испытаний и общие характеристики (Paraaramid fibre filament yarns. Methods of test and general specifications);

BS EN 12562:1999. Текстиль. Параарамидные мультифиламентные нити. Методы испытаний (Textiles. Paraaramid multifilament yarns. Test methods);

DIN EN 12562:1999. Текстиль — параарамидные мультифиламентные нити — методы испытаний (Textiles — Paraaramid multifilament yarns — Test methods, English);

DIN EN 13003-2:1999. Нити из параарамидных волокон. Часть 2: Методы испытаний и общие характеристики (Paraaramid fibre filament yarns. Part 2: Methods of test and general specifications, English);

ASTM D7269/D7269M-11. Стандарт на методы испытаний на растяжение арамидных нитей (Standard Test Methods for Tensile Testing of Aramid Yarns), 2011 г.;

SAE AMS 3901. Органические волокна (параарамидные), пряжа и ровница, высокомодульные (Organic Fiber (Para-Aramid), Yarn and Roving, High Modulus), 1998 г.;

JIS L 1013:2010. Методы испытаний искусственных волоконных нитей (Testing methods for man-made filament yarns (соответствует, но не эквивалентен международным стандартам ISO 2060:1994);

JIS L 1095:2010. Методы испытаний крученых нитей (Testing methods for spun yarn) соответствует (модифицированный стандарт) международным стандартам ISO 2061:1995, ISO 2062:1993, ISO 6939:1988).

В качестве наиболее применяемого и современного стандарта для определения физико-механических характеристик арамидных нитей (методы испытания

на растяжение) предложено рассмотреть ASTM D7269/D7269M-11. Данный стандарт развивается, о чем свидетельствует то, что он пересматривается и обновляется [13] — в 2006, 2007, 2008 и 2010 гг.

Проведено сравнение ГОСТ 6611.2-73 [14] и ASTM D7269/D7269M-11 [15]. Первый — основной Российский документ, регламентирующий порядок проведения испытаний на растяжение, второй — современный международный стандарт на методы испытаний на растяжение арамидных нитей.

Оба стандарта описывают метод проведения испытаний на растяжение нитей, однако ASTM регламентирует большее число методов определения физико-механических параметров нитей. Согласно ГОСТ 6611.2-73 в результате испытаний определяют величину разрывной нагрузки и удлинение при разрыве, а в стандарте американского общества по испытанию материалов описаны также методы определения: предела прочности на разрыв; сопротивления разрыву при растяжении; усилия, соответствующего конкретному удлинению; линейной плотности; модуля упругости; работы, затраченной на разрыв.

Сущность обоих стандартов сводится к закреплению нити в захватах разрывной машины, приложению нагрузки для достижения определенного предварительного натяжения, растяжению нити до разрыва и определению ее физико-механических параметров. Отличительной особенностью метода, описанного в стандарте ASTM, является возможность процедуры не только предварительного натяжения до растяжения нити, но и свободного провисания при выполнении испытания. При этом в стандарте указывается необходимость внесения поправки на длину базы измерения из-за провисания нити. Российский стандарт предусматривает только процедуру предварительного натяжения нити.

Помимо перечисленных имеются и другие отличия, влияющие на показатели механических характеристик. В таблице приведены основные различия рассмотренных стандартов.

Видно, что в ГОСТ 6611.2-73 явным образом не прописана возможность его применения к арамидным нитям. Связано это с тем, что на момент выхода данного стандарта арамидные нити еще не производились в промышленном масштабе. В результате значения некоторых параметров, приведенных в стандарте, могут повлиять на результаты испытаний. Американский же стандарт распространяется исключительно на арамидные нити. Согласно ему проводят испытания арамидных нитей таких марок, как Kevlar®, Twaron®, Novomex® и др.

Кроме того, ГОСТ 6611.2-73 не связывает длину базы измерения нити с другими параметрами. По ASTM длина базы измерения может быть скорректирована в случае необходимости применения кнехтовых захватов с большим диаметром кнехта. А поскольку зажимная длина вместе со скоростью растя-

Основные различия ГОСТ 6611.2–73 и ASTM D7269/D7269M-11

Параметр	ГОСТ 6611.2–73	ASTM D7269/D7269M-11
Область применения	Пряжа (одионочная и крученая) из натуральных, химических волокон и смешанная; нити (мононити, комплексные, крученые комплексные, крученые комбинированные), натуральные, химические и неоднородные	Арамидные нити, корды и ткани
Номинальная длина базы измерения, мм	500 ± 1 (Крученые нити технического и специального назначения допускается испытывать при зажимной длине (200 ± 1) мм или (250 ± 1) мм, если это предусмотрено нормативным документом на конкретные нити)	500 ± 2, 250 ± 1 (Разрешается подбирать базу измерения, соответствующую захватам)
Величина предварительного натяжения, мН/текс	5 ± 1	20 ± 1
Средняя продолжительность процесса растяжения нити до разрыва, с	20 ± 3	—
Скорость перемещения траверсы	Вычисляется исходя из средней продолжительности процесса растяжения нити до разрыва.	Для параарамидов — 50 % от длины номинальной базы измерения (в мм). Для метаарамидов — 100 % от длины номинальной базы измерения (в мм)

жения оказывают влияние на показатели механических характеристик [16, 17], то данным стандартом предусмотрен пересчет скорости перемещения траверсы. В рассматриваемом ГОСТе также учитывается изменение длины базы измерения (если это предусмотрено нормативным документом на нить), однако при этом скорость растяжения остается неизменной.

Скорость растяжения в российском стандарте связана с таким параметром, как средняя продолжительность процесса растяжения нити до разрыва, и вычисляется по формуле

$$v_n = \frac{60}{t} \left(\frac{P_p}{\eta} + l \right), \quad (1)$$

где P_p — разрывная нагрузка испытываемой нити, даН; η — коэффициент пропорциональности, даН/мм; l — удлинение при разрыве испытываемой нити, мм; t — средняя продолжительность процесса растяжения нити до разрыва.

Средняя продолжительность испытания строго регламентируется в российском стандарте. Она связана со значительным влиянием скорости растяжения на показатели полужеловых характеристик [16]. Однако, как указано в статье [10], при быстром растяжении арамидных нитей релаксационные процессы, связанные с деформацией, не успевают произойти полностью, что может привести к искажению результатов. Согласно исследованиям [10, 18] деформация практически не меняется в диапазоне скорости ее изменения от 0,0003 до 0,003 с⁻¹. В этой связи авторы работы [10] снизили время деформирования нити до (7 ± 3) с.

Важным отличием между рассматриваемыми стандартами является величина предварительного натяжения нити. Данная процедура проводится до начала испытания с целью устранения провисания нити. ASTM устанавливает значение предварительного натяжения на уровне 20 ± 1 мН/текс, а ГОСТ — на уровне

не 5 ± 1 мН/текс (при испытании арамидных нитей такого значения может оказаться недостаточно для устранения провисания).

По результатам аналитического исследования методов ГОСТ 6611.2–73 и ASTM D7269/D7269M-11 можно сделать промежуточный вывод о том, что ASTM более актуален в качестве документа, регламентирующего методы проведения испытаний на растяжение арамидных нитей, в частности спирально-анизотропных торсионных подвесов приборов. Однако окончательные выводы должны быть сделаны только после экспериментально-аналитического исследования арамидных нитей, т.е. проведения испытаний на основе обоих стандартов и анализа экспериментальных данных.

Таким образом, рассмотрена проблема экспериментального определения физико-механических характеристик арамидных торсионов ($D = 0,046$ мм). Изучены действующие международные стандарты, которые используются для испытаний на растяжение арамидных нитей, выделен ASTM D7269/D7269M-11 как наиболее современный. Проанализированы основные положения методов ГОСТ 6611.2–73 и ASTM D7269/D7269M-11. Основные различия методов состоят в количестве определяемых физико-механических параметров нитей, величинах номинальной длины базы измерения, предварительного натяжения нитей, скорости перемещения траверсы (средней продолжительности процесса растяжения нити до разрыва). По результатам аналитического исследования методов ГОСТ 6611.2–73 и ASTM D7269/D7269M-11 сделан промежуточный вывод о том, что стандарт ASTM-D7269/D7269M более актуален в качестве документа, регламентирующего методы проведения испытаний на растяжение арамидных нитей, в частности спирально-анизотропных торсионных подвесов приборов. Предложено провести экспериментально-аналитические исследования, т.е. испытания на основе

обоих стандартов и проанализировать экспериментальные данные.

ЛИТЕРАТУРА

1. Патент РФ 2519888, МПК D07B3/00. Устройство для изготовления торсионных подвесов чувствительных элементов приборов / Копытенко Ю. А., Петрищев М. С., Сергушин П. А., Леваненко В. А., Перечесова А. Д.; опубл. 20.06.2014. Бюл. № 17.
2. **Перечесова А. Д.** Анализ и синтез механизма для плетения торсионных подвесов приборов: дис. ... канд. техн. наук. — СПб., 2012. — 125 с.
3. **Копытенко Ю. А., Сергушин П. А., Петрищев М. С., Леваненко В. А., Перечесова А. Д.** Device for Manufacturing Torsion Bars with Helical Anisotropy UISAT-1 / Key Eng. Mater. Trans. Tech. Publ. Switzerland. 2010. Vol. 437. P. 625 – 628. DOI: 10.4028/www.scientific.net/KEM.437.625.
4. **Перечесова А. Д., Калапышина И. И., Нуждин К. А.** Kinematics and dynamics analysis of different mechanisms using the simmechanics/SIMULINK/MATLAB / 26th European Modeling and Simulation Symposium, EMSS 2014, 2014. P. 128 – 135.
5. **Перечесова А. Д., Калапышина И. И., Нуждин К. А.** Исследования механизмов различного уровня с помощью MATLAB / Изв. вузов. Машиностроение. 2014. № 11. С. 42 – 55.
6. **Мусалимов В. М., Заморюев Г. Б., Перечесова А. Д.** Расчет физико-механических характеристик винтовых элементов спирально-анизотропных стержней / Изв. вузов. Приборостроение. 2012. Т. 55. № 6. С. 24 – 30.
7. **Мусалимов В. М., Заморюев Г. Б., Перечесова А. Д.** Программа «Парабола» для расчета физико-механических характеристик винтовых элементов спирально-анизотропного стержня (Федеральная служба по интеллектуальной собственности). Свид. 2013616761 от 18.07.2013.
8. Патент 2287837 РФ, МПК G 01 R 33/038. Датчик магнитометра / Копытенко Ю. А., Коробейников А. Г., Мусалимов В. М., Петрищев М. С., Сергушин П. А., Ткалич В. Л.; опубл. 20.12.06. Бюл. № 32.
9. **Сергушин П. А.** Магнитостатический вариометр со спирально-анизотропным чувствительным элементом: дис. ... канд. техн. наук. — СПб., 2010. — 122 с.
10. **Комиссаров С. В.** Изучение влияния продолжительности процесса растяжения до разрыва / Инженерный вестник Дона. 2010. № 2. С. 89 – 94.
11. **Huang M., Wu F., Li Z., Xia Y.** A new method for strain measurement in the tensile testing of filamentous materials / ASTM J. Testing Eval. 2012. Vol. 40. Issue 6. DOI: 10.1520/JTE104391.
12. **Zhu D., Mobasher B., Rajan S. D.** Experimental study of dynamic behavior of Kevlar 49 single yarn / Society for Experimental Mechanics — SEM Annual Conference and Exposition on Experimental and Applied Mechanics. 2010. Vol. 1. P. 542 – 547. Code 81901.
13. **Перечесова А. Д., Калапышина И. И.** Выбор метода испытания на растяжение арамидных нитей / Приборы. 2014. Вып. 172. № 10. С. 28 – 33.
14. ГОСТ 6611.2–73. Нити текстильные. Методы определения разрывной нагрузки и удлинения при разрыве. — М.: Изд-во стандартов, 1973. — 36 с.
15. ASTM D7269/D7269M-11. Standard Test Methods for Tensile Testing of Aramid Yarns. — USA: ASTM International, 2011. — 27 p.
16. Текстильное материаловедение (волокна и нити): Учебник для вузов. 2-е изд., перераб. и доп. / Г. Н. Кукин, А. Н. Соловьев, А. И. Кобыляков. — М.: Легпромбытиздат, 1989. — 352 с.
17. **Zhu D. et al.** Strain rate and gage length effects on tensile behavior of Kevlar 49 single yarn / Composites. A. Appl. Sci. Manufact. 2012. Vol. 43. Issue 11. P. 2021 – 2029.
18. **Amaniampong G., Burgoyne C. J.** Statistical variability in the strength and failure strain of aramid and polyester yarns / J. Mater Sci. 1994. Vol. 29. N 19. P. 5141 – 5152.
19. **Копытенко Ю. А., Петрищев М. С., Сергушин П. А., Леваненко В. А., Перечесова А. Д.** [Analysis and synthesis of mechanism for manufacturing torsion bars of devices]. Author's abstract of Candidate's Thesis. — St. Petersburg, 2012. — 125 p. [in Russian].
20. **Копытенко Ю. А., Сергушин П. А., Петрищев М. С., Леваненко В. А., Перечесова А. Д.** Device for Manufacturing Torsion Bars with Helical Anisotropy UISAT-1 / Key Eng. Mater. Trans. Tech. Publ. Switzerland. 2010. Vol. 437. P. 625 – 628. DOI: 10.4028/www.scientific.net/KEM.437.625.
21. **Перечесова А. Д., Калапышина И. И., Нуждин К. А.** Kinematics and dynamics analysis of different mechanisms using the simmechanics/SIMULINK/MATLAB / 26th European Modeling and Simulation Symposium, EMSS 2014, 2014. P. 128 – 135.
22. **Перечесова А. Д., Калапышина И. И., Нуждин К. А.** Issledovaniya mekhanizmov razlichnogo urovnya s pomoshch'yu MATLAB [Analysis of various mechanisms using MATLAB] / Izv. Vuzov. Mashinost. 2014. N 11. P. 42 – 55 [in Russian].
23. **Musalimov V. M., Zamoruev G. B., Perechessova A. D.** Raschet fiziko-mekhanicheskikh kharakteristik vintovykh elementov spiral'no-anizotropnykh stержней [Calculation of physical and mechanical properties of helical anisotropic rod screw elements] / Izv. Vuzov. Priborostr. 2012. Vol. 55. N 6. P. 24 – 30 [in Russian].
24. **Musalimov V. M., Zamoruev G. B., Perechessova A. D.** Programma «Parabola» dlya rasscheta fiziko-mekhanicheskikh kharakteristik vintovykh elementov spiral'no-anizotropnogo stержnya (Federal'naya sluzhba po intellektual'noi sobstvennosti) [The software «Parabola» for Calculation of physical and mechanical properties of helical anisotropic rod screw elements]. Certificate No. 2013616761 from 18.07.2013 [in Russian].
25. RF Pat. 2287837, MPK G 01 R 33/038. Datchik magnetometra [The magnetometer sensor] / Kopytenko Yu. A., Korobeinikov A. G., Musalimov V. M., Petrishchev M. S., Sergushin P. A., Tkachik V. L.; publ. 20.12.06. Byull. Otkryt. Izobret. N 32 [in Russian].
26. **Sergushin P. A.** Magnitostatsicheskii variometr so spiral'no-anizotropnym chuvstvitel'nyim elementom [Torsion magnetic variometer with kevlar-hanger-based sensor]. Author's abstract of Candidate's Thesis. — St. Petersburg, 2010. — 122 p. [in Russian].
27. **Komissarov S. V.** Izuchenie vliyaniya prodolzhitel'nosti protsessa razryvaniya do razryva [The study of the influence of tensile time to break] / Inzh. Vestnik Dona. 2010. N 2. P. 89 – 94 [in Russian].
28. **Huang M., Wu F., Li Z., Xia Y.** A new method for strain measurement in the tensile testing of filamentous materials / ASTM J. Testing Eval. 2012. Vol. 40. Issue 6. DOI: 10.1520/JTE104391.
29. **Zhu D., Mobasher B., Rajan S. D.** Experimental study of dynamic behavior of Kevlar 49 single yarn / Society for Experimental Mechanics — SEM Annual Conference and Exposition on Experimental and Applied Mechanics. 2010. Vol. 1. P. 542 – 547. Code 81901.
30. **Perechessova A. D., Kalapysheva I. I.** Vybor metoda ispytaniya na raztyazhenie aramidnykh nitei [Peculiarity of the actual Test Methods for tensile testing of aramid yarns] / Pribory. 2014. Issue 172. N 10. P. 28 – 33 [in Russian].
31. RF State Standard GOST 6611.2–73. Niti tekstil'nye. Metody opredele-niya razryvnoi nagruzki i udlineniya pri razryve [Textile threads. Methods for determination of breaking load and elongation at rupture]. — Moscow: Izd-vo standartov, 1973. — 36 p. [in Russian].
32. ASTM D7269/D7269M-11. Standard Test Methods for Tensile Testing of Aramid Yarns. — USA: ASTM International, 2011. — 27 p.
33. **Kukin G. N., Solov'ev A. N., Koblyakov A. I.** (eds.). Tekstil'noe materialovedenie (volokna i niti) [Textile materials (fibers and threads)]: a textbook for high schools. 2nd Edition. — Moscow: Legprombytizdat, 1989. — 352 p. [in Russian].
34. **Zhu D. et al.** Strain rate and gage length effects on tensile behavior of Kevlar 49 single yarn / Composites. A. Appl. Sci. Manufact. 2012. Vol. 43. Issue 11. P. 2021 – 2029.
35. **Amaniampong G., Burgoyne C. J.** Statistical variability in the strength and failure strain of aramid and polyester yarns / J. Mater Sci. 1994. Vol. 29. N 19. P. 5141 – 5152.

REFERENCES