

## Исследование влияния количества слоев бронепакета из параарамидных тканей на усилие прокола

Я. И. Буланов, А. В. Курденкова<sup>а</sup>, Ю. С. Шустов  
Российский государственный университет им. А. Н. Косыгина  
(Технологии. Дизайн. Искусство)  
<sup>а</sup>akurdenkova@yandex.ru

*Аннотация.* В работе изучено влияние количества слоев, влажности и скорости движения индентора в виде пики на усилие прокола тканей для бронежилетов. Проведен однофакторный эксперимент и получены адекватные математические зависимости, позволяющие прогнозировать величину усилия прокола в зависимости от факторов внешней среды.

*Ключевые слова:* параарамидные ткани, усилие прокола, количество слоев ткани, индентор в виде пики, однофакторный эксперимент.

## Investigation of the Influence of the Number of Layers from Para-Aramide Fabrics in Armour Package on Puncture Force

Ya. Bulanov, A. Kurdenkova<sup>a</sup>, Yu. Shustov  
Russian State University named after A. Kosygin  
(Technology, Design, Art)  
<sup>a</sup>akurdenkova@yandex.ru

*Abstract.* The influence of the number of layers, humidity and speed of motion of the indenter in the form of a peak on the puncture force of fabrics for bulletproof vests is studied. A one-factor experiment was done and adequate mathematical dependencies were obtained, which allow predicting the amount of puncture force depending on the environmental factors.

*Keywords:* para-aramid fabrics, puncture force, number of fabric layers, indenter in the form of a peak, single-factor experiment.

Ткани из параарамидных нитей используются для изготовления средств индивидуальной бронезащиты, которые должны обеспечивать защиту как от огнестрельного, так и от холодного оружия. Причинить вред здоровью или смерть можно различными видами холодного оружия, каждое из которых имеет свои особенности в конструкции. В ГОСТ Р 50744-95 средством поражения является штык-нож к автомату АК-74 и его модификациям, данное средство поражения по механике поражения исключает прокол, а ткани для бронежилетов должны обеспечивать защиту не только от прорезания, но и от прокалывания. Поэтому для более полного изучения механики проникновения поражающих элементов на ткань необходимо использовать пику.

Современные виды бронежилетов изготавливаются из многослойных пакетов. Целью данного исследования являлось изучение изменения усилия прокола параарамидных тканей с учетом влажности и ско-

рости движения индентора, что позволяет определить оптимальные условия эксплуатации бронепакета для защиты от колющего оружия. В работе были проведены испытания для различных видов текстильных материалов при варьировании количества слоев, скорости движения индентора и влажности ткани.

В качестве объектов исследования были выбраны 5 артикулов баллистических тканей, которые наиболее распространены для изготовления средств индивидуальной защиты. Ткани выработаны из нитей Русар. Структурные характеристики исследуемых тканей приведены в таблице 1.

Из таблицы 2 видно, что с увеличением количества слоев усилие прокола увеличивается, а с увеличением влажности – уменьшается. С увеличением скорости движения индентора усилие прокола увеличивается.

На рисунке 1 приведены зависимости усилия прокола от количества слоев параарамидной ткани.

Таблица 1 – Структурные характеристики исследуемых тканей

Показатель качества	Обозначение	арт. 86144	арт. 86136	арт. 86294	арт. 53631	арт. 84127
Толщина, мм	$b$	0,27	0,26	0,27	0,30	0,23
Линейная плотность нитей основы, текс	$T_o$	55,0	61,0	29,5	62,0	34,0
Линейная плотность нитей утка, текс	$T_y$	55,0	60,0	29,5	60,0	32,0
Плотность ткани по основе, число нитей / 10 см	$P_o$	150	130	270	150	240
Плотность ткани по утку, число нитей / 10 см	$P_y$	140	140	240	150	210
Поверхностная плотность ткани, г/м <sup>2</sup>	$M_1$	164,5	168,4	152,6	187,0	152,0
Переплетение		Саржевое	Атласное	Полотняное	Вафельное	Полотняное

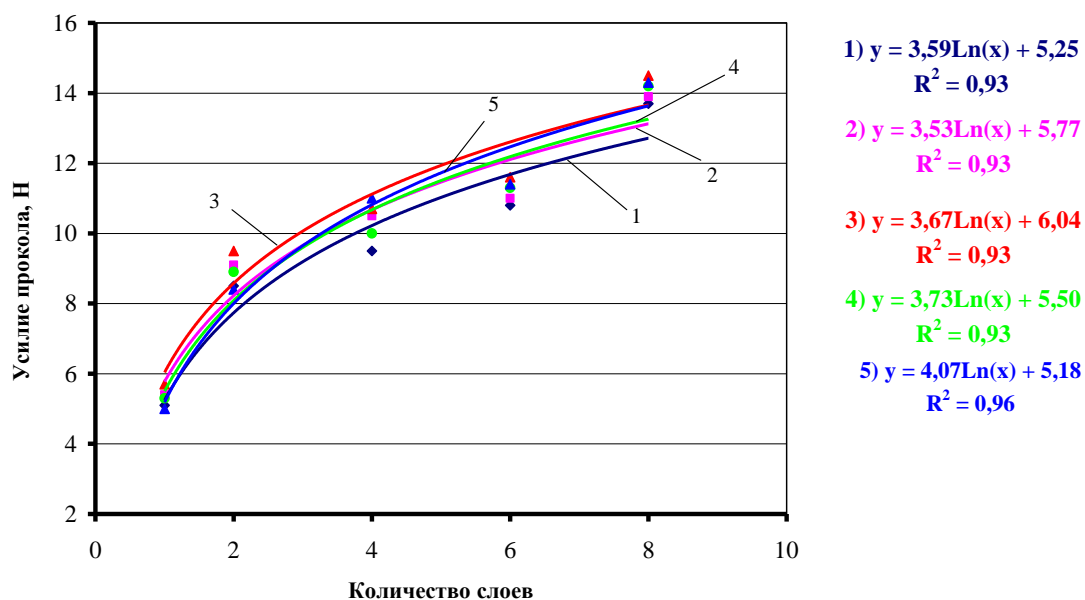
Результаты испытаний на прокол пикой приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Результаты определения усилия прокола параарамидных тканей индентором в виде пик

Количество слоев	арт. 86144 – саржевое переплетение		арт. 86136 – атласное переплетение		арт. 86294 – полотняное переплетение		арт. 53631 – вафельное переплетение		арт. 84127 – полотняное переплетение	
	Усилие прокола, Н	Стрела прогиба, мм	Усилие прокола, Н	Стрела прогиба, мм	Усилие прокола, Н	Стрела прогиба, мм	Усилие прокола, Н	Стрела прогиба, мм	Усилие прокола, Н	Стрела прогиба, мм
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
<b>Влажность ткани 40 %, скорость движения индентора 100 мм/мин</b>										
1	14,2	2,64	14,1	2,64	14,9	2,81	14,7	1,54	14,4	2,75
2	23,4	2,61	22,1	2,61	25,3	2,66	25,7	1,49	25	2,32
4	27	2,58	26,7	2,57	29,6	2,62	29,3	1,29	29	2,14
6	31	1,62	30,2	2,22	33,2	2,41	32,8	0,97	33,3	1,97
8	35,8	1,54	34,5	2,02	36	2,13	35,3	0,87	37,7	1,75
<b>Влажность ткани 40 %, скорость движения индентора 250 мм/мин</b>										
1	15,1	2,67	15,5	1,76	15,7	1,96	15,1	1,80	15	2,58
2	24,4	2,28	23,9	1,72	24,5	1,82	23,5	1,74	24,9	2,36
4	28,3	1,66	29,8	1,67	29	1,72	28,8	1,69	30,8	1,85
6	32,4	1,35	33,3	1,24	32,1	1,54	33,5	1,42	35,7	1,66
8	37,2	1,15	36,1	1,01	35,8	1,26	38,3	1,27	40,5	1,43
<b>Влажность ткани 40 %, скорость движения индентора 500 мм/мин</b>										
1	16,1	2,10	16,4	2,05	16,3	2,48	16,3	2,22	15,8	2,86
2	25,6	2,03	24,6	2,03	24,8	2,37	22,8	2,10	25	2,63
4	30,5	1,85	29,8	1,95	31	2,05	28,4	1,88	29,6	2,15
6	34	1,67	32,8	1,75	35,7	1,84	32,2	1,71	35,5	1,85
8	38,5	1,41	36,3	1,59	39,2	1,72	36,7	1,56	43,8	1,71
<b>Влажность ткани 65 %, скорость движения индентора 100 мм/мин</b>										
1	6,7	1,59	6,9	1,61	6,8	1,68	5,6	1,86	6,3	2,13
2	10,3	1,57	12,1	1,57	14,3	1,60	14,2	1,68	16,8	1,85
4	16,7	1,42	17,6	1,54	18,7	1,58	17,8	1,56	18,1	1,69
6	20,2	1,39	21,5	1,42	23,2	1,46	24,6	1,41	25,7	1,53
8	24	1,22	26	1,02	27	1,11	26	1,21	29,4	1,41
<b>Влажность ткани 65 %, скорость движения индентора 250 мм/мин</b>										
1	7,8	1,84	8	1,80	7,2	1,85	6,5	1,77	8	2,14
2	9,4	1,76	9,1	1,68	8,1	1,85	7,7	1,56	11	1,96

Окончание таблицы 2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
4	12,6	1,72	11	1,67	12,1	1,67	10,8	1,45	14,2	1,78
6	15	1,59	16,5	1,51	16,7	1,49	14,3	1,23	17,4	1,61
8	18,4	1,32	18,3	1,24	18,5	1,11	17,1	1,03	20,2	1,43
<b>Влажность ткани 65 %, скорость движения индентора 500 мм/мин</b>										
1	8,2	2,12	8,2	2,20	7,8	2,17	7,6	2,24	8,4	2,61
2	11	2,03	12,2	2,05	10,7	2,10	11,8	2,12	12,6	2,48
4	14,6	1,95	13	1,88	13,7	2,08	14,2	1,85	15,7	2,18
6	15,3	1,81	14,5	1,66	16,2	1,84	16,7	1,71	16,8	1,94
8	17,1	1,62	17,2	1,34	18,1	1,71	18,3	1,45	17,8	1,72
<b>Влажность ткани 90 %, скорость движения индентора 100 мм/мин</b>										
1	3,6	3,02	3,7	3,05	3,4	2,78	4,1	2,31	4,1	2,57
2	7,7	2,86	7,8	2,73	7,3	2,57	6,9	2,14	6,8	2,36
4	8,4	2,56	8,8	2,47	8,9	2,36	8,5	1,86	8,6	2,16
6	9,5	2,31	9,4	2,31	10,3	2,18	9,6	1,61	9,1	1,91
8	12,4	2,10	12,3	2,03	13,2	1,81	12,5	1,52	12	1,73
<b>Влажность ткани 90 %, скорость движения индентора 250 мм/мин</b>										
1	4,5	2,74	4,9	2,96	4,3	2,91	5,1	2,64	4,4	2,79
2	7,5	2,56	8,2	2,78	7,1	2,71	8,8	2,31	7,4	2,63
4	8	2,30	8,6	2,56	7,8	2,63	9,3	2,15	8,1	2,45
6	8,7	2,01	9	2,13	8,4	2,34	9,7	1,91	8,4	2,03
8	11,6	1,75	11,9	1,94	11,3	2,10	12,6	1,75	11,3	1,88
<b>Влажность ткани 90 %, скорость движения индентора 500 мм/мин</b>										
1	5,1	2,57	5,4	2,81	5,7	3,04	5,3	2,80	5	3,27
2	8,5	2,31	9,1	2,61	9,5	2,71	8,9	2,78	8,4	3,06
4	9,5	2,14	10,5	2,45	10,7	2,56	10	2,56	11	2,81
6	10,8	1,85	11	2,11	11,6	2,13	11,3	2,33	11,4	2,45
8	13,7	1,64	13,9	1,86	14,5	1,94	14,2	2,01	14,3	2,15



1) ◆ арт. 86144 2) ■ арт. 86136 3) ▲ арт. 86294 4) ● арт. 53631 5) ▲ арт. 84127

Рисунок 1 – Зависимость усилия прокола при влажности ткани 90 % и скорости движения индентора 500 мм/мин от количества слоев

На начальном этапе при испытании ткани в один слой практически не наблюдается различий в результатах испытаний, так как пика имеет острый наконечник, гладкую поверхность и малый диаметр в поперечнике, что позволяет ей легко проникать сквозь материал, независимо от его структурных характеристик.

При увеличении количества слоев происходит увеличение усилия прокола.

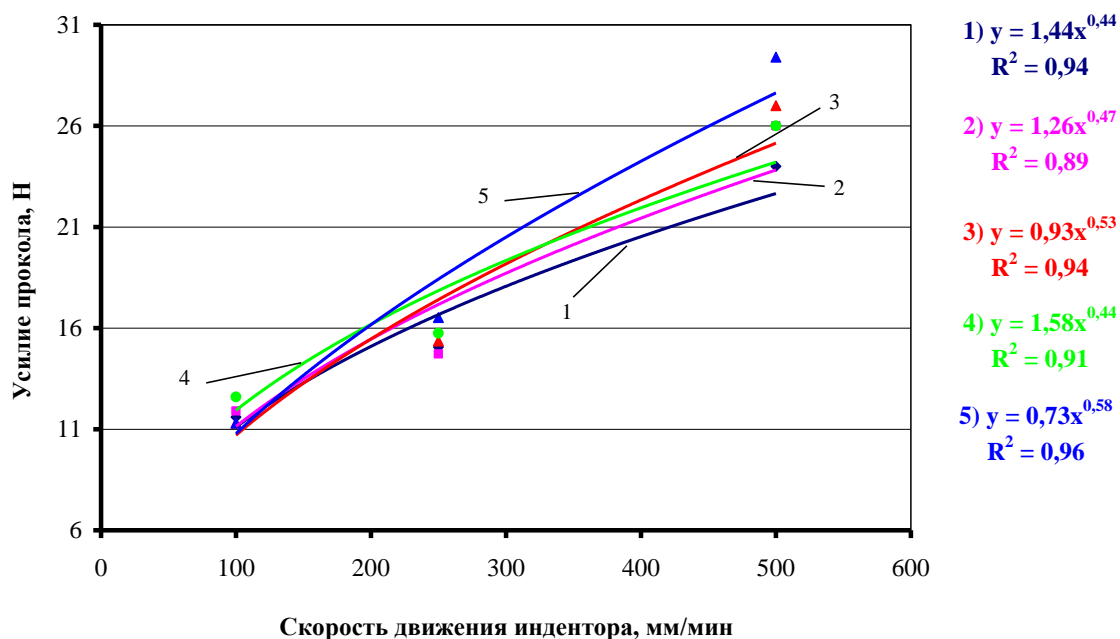
Данная зависимость определяется логарифмической функцией:

$$y = a \ln(x) + b,$$

где  $y$  – усилие прокола, Н;  $x$  – количества слоев;  $a, b$  – расчетные коэффициенты.

На усилие прокола влияет скорость движения индентора, так как при возникновении ситуации с применением холодного оружия скорость нанесения повреждений может быть различной.

На основе результатов испытаний (табл. 2) получены зависимости усилия прокола баллистических тканей от скорости движения индентора.



1) ♦ арт. 86144 2) ■ арт. 86136 3) ▲ арт. 86294 4) ● арт. 53631 5) ▲ арт. 84127

Рисунок 2 – Зависимость усилия прокола ткани в 8 слоев при влажности ткани 90 % от скорости движения индентора

Данная зависимость определяется степенной функцией:

$$y = a \cdot x^b,$$

где  $y$  – усилие прокола, Н;  $x$  – скорость движения индентора, мм/мин;  $a, b$  – расчетные коэффициенты.

Можно отметить, что при общем условии увеличения прочности при увеличении количества слоев и изменения влажности при увеличении скорости движения индентора усилие прокола увеличивается. При скорости 100мм/мин практически все образцы имеют не большую разницу в усиллии прокола. Наибольшие различия наблюдаются при скорости 500 мм/мин.

Установлено, что при высокой влажности парамидные ткани теряют свою прочность при растяжении, поэтому исследование влияния ее различных значений на усилие прокола является актуальной задачей. На рисунке 3 приведены зависимости усилия прокола от влажности ткани.

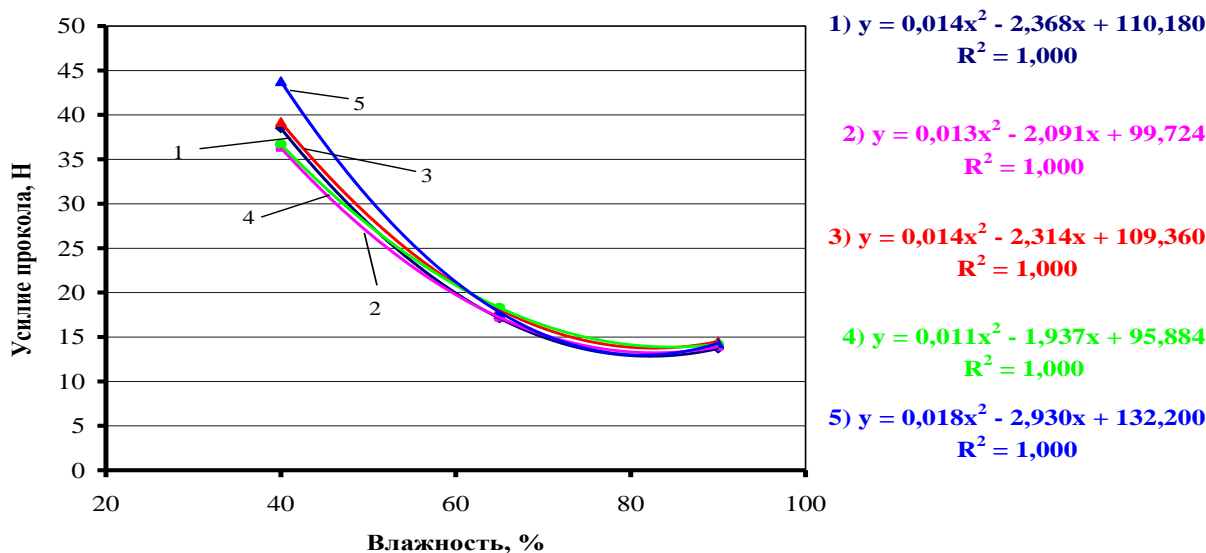
Зависимость усилия прокола ткани от влажности ткани определяется полиномом второго порядка:

$$y = a \cdot x^2 + bx + c,$$

где  $y$  – усилие прокола, Н;  $x$  – влажность ткани, %;  $a, b, c$  – расчетные коэффициенты.

При анализе зависимости усилия прокола тканей от влажности ткани можно сделать вывод, что изменение данного показателя у всех полотен происходит с одинаковой интенсивностью и кривые накладываются одна на другую.

В зависимости от увеличения влажности ткани величина усилия прокола тканей снижается, так как нити становятся более гладкими, что позволяет индентору в виде пика с меньшим усилием прокалывать ткань. При проколе индентор практически не повреждает нити, так как совокупность наличия у индентора в виде пика заточенного наконечника и малой площади поперечного сечения позволяет раздвигать нити, не повреждая их, что значительно снижает усилие прокола, что по механике воздействия на ткань сильно отличает ее от воздействия при прорезании.



1) ◆ арт.86144 2) ■ арт.86136 3) ▲ арт.86294 4) ● арт.53631 5) ▲ арт.84127

Рисунок 3 – Зависимость усилия прокола ткани в 8 слоев при скорости движения индентора 500 мм/мин от влажности ткани

### Выводы

По результатам проведенного исследования можно сделать следующие выводы. Структурные характеристики оказывают влияние на усилие прокола. Для улучшения этих показателей необходимо использовать наиболее оптимальные виды переплетений, которые обеспечивают максимальные показатели стойкости к проколу. Наилучшими характеристиками обладает ткань арт. 86294 полотняного переплетения, а наихудшими – арт. 86136 атласного переплетения.

Для обеспечения безопасности необходимо использовать комплексный подход при формировании оптимального бронепакета, защищающего как от прокола, так и от прорезания, также данный пакет необходимо использовать как составную часть бронепакета для защиты от огнестрельного оружия, так как ткани, используемые для защиты от огнестрельного оружия, не обеспечивают защиту от холодного оружия или иных предметов, которыми при помощи мускульной силы человека можно нанести вред здоровью или причинить смерть.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Буланов, Я. И. Исследование влияния воды на механические свойства баллистических тканей для создания защиты от оружия различных видов / Я. И. Буланов, А. В. Курденкова, А. Н. Шманёв // Дизайн, технологии и инновации в текстильной и легкой промышленности (ИННОВАЦИИ-2015) : сборник материалов международной научно-технической конференции. – Москва, 2015. – С. 131–134.
2. Разработка методик оценки качества баллистических тканей с учетом условий эксплуатации / А. Н. Шманёв [и др.] // Инновационное развитие легкой и текстильной промышленности : сборник материалов Всероссийской научной студенческой конференции ИНТЕКС-2015. – Москва, 2015. – Ч. 1. – С. 99–101.
3. Шустов, Ю. С. Исследование прочности тканей специального назначения при воздействии острых предметов / Ю. С. Шустов, А. В. Курденкова, Я. И. Буланов // Инновационные технологии в текстильной и легкой промышленности : материалы докладов международной научно-технической конференции, Витебск, 26–27 ноября 2014 г. / УО «ВГТУ». – Витебск, 2014. – С. 466–468.
4. Шустов, Ю. С. Исследование механических свойств баллистических тканей в сухом и мокром состоянии / Ю. С. Шустов, Я. И. Буланов // Новое в технике и технологии текстильной и легкой промышленности : материалы докладов международной научно-технической конференции, Витебск, 27–28 ноября 2013 г. / УО «ВГТУ». – Витебск, 2013. – С. 139–140.

### REFERENCES

1. Bulanov, Ya. Investigation of the influence of water on the mechanical properties of ballistic fabrics for creating protection against weapons of various types / Ya. Bulanov, A. Kurdenkova, A. Shmanev // Design, technology

- and innovation in textile and light industry (INNOVATION-2015) : a collection of materials of the international scientific and technical conference. Research and development in the field of technology and technology. – Moscow, 2015. – P. 131–134.
2. Development of methods for assessing the quality of ballistic fabrics, taking into account the operating conditions / A. Shmanev [et al.] // Innovative development of light and textile industry : proceedings of the All-Russian scientific student conference INTEX-2015. – Moscow, 2015. – Part. 1. – P. 99–101.
  3. Shustov, Ju. S. Issledovanie prochnosti tkaney spetsial'nogo naznachenija pri vozdejstvii ostryh predmetov / Ju. S. Shustov, A. V. Kurdenkova, Ja. I. Bulanov // Innovatsionnye tehnologii v tekstil'noj i legkoj promyshlennosti : materialy dokladov mezhdunarodnoj nauchno-tehnicheskoy konferentsii, Vitebsk, 26–27 nojabrja 2014 g. / UO «VGTU». – Vitebsk, 2014. – S. 466–468.
  4. Shustov, Ju. S. Issledovanie mehanicheskikh svojstv ballisticheskikh tkaney v suhom i mokrom sostojanii / Ju. S. Shustov, Ja. I. Bulanov // Novoe v tehnike i tehnologii tekstil'noj i legkoj promyshlennosti : materialy dokladov mezhdunarodnoj nauchno-tehnicheskoy konferentsii, Vitebsk, 27–28 nojabrja 2013 g. / UO «VGTU». – Vitebsk, 2013. – S. 139–140.

#### SPISOK LITERATURY

1. Bulanov, Ja. I. Issledovanie vliyanija vody na mekhanicheskie svojstva ballisticheskikh tkaney dlya sozdaniya zashchity ot oruzhiya razlichnyh vidov / Ja. I. Bulanov, A. V. Kurdenkova, A. N. Shmanyov // Dizajn, tekhnologii i innovacii v tekstil'noj i legkoj promyshlennosti (INNOVACII-2015) : sbornik materialov mezhdunarodnoj nauchno-tehnicheskoy konferencii. – Moskva, 2015. – S. 131–134.
2. Razrabotka metodik otsenki kachestva ballisticheskikh tkaney s uchetom uslovij `ekspluatatsii / A. N. Shmanjov [i dr.] // Innovatsionnoe razvitie legkoj i tekstil'noj promyshlennosti : sbornik materialov Vserossijskoj nauchnoj studencheskoj konferentsii INTEKS-2015. – Moskva, 2015. – Ch. 1. – S. 99–101.
3. Shustov, Ju. S. Issledovanie prochnosti tkaney spetsial'nogo naznachenija pri vozdejstvii ostryh predmetov / Ju. S. Shustov, A. V. Kurdenkova, Ja. I. Bulanov // Innovatsionnye tehnologii v tekstil'noj i legkoj promyshlennosti : materialy dokladov mezhdunarodnoj nauchno-tehnicheskoy konferentsii, Vitebsk, 26–27 nojabrja 2014 / UO «VGTU». – Vitebsk, 2014. – S. 466–468.
4. Shustov, Ju. S. Issledovanie mehanicheskikh svojstv ballisticheskikh tkaney v suhom i mokrom sostojanii / Ju. S. Shustov, Ja. I. Bulanov // Novoe v tehnike i tehnologii tekstil'noj i legkoj promyshlennosti : materialy dokladov mezhdunarodnoj nauchno-tehnicheskoy konferentsii, Vitebsk, 27–28 nojabrja 2013 / UO «VGTU». – Vitebsk, 2013. – S. 139–140.

Статья поступила в редакцию 23.10.2017