

Научная статья

УДК 677.022.2:519.876.5:519.248:004.942

doi 10.34216/2587-6147-2021-3-53-41-47

Петр Алексеевич Севостьянов¹

Владимир Иванович Монахов²

Татьяна Алексеевна Самойлова³

Екатерина Николаевна Вахромеева⁴

Юлия Борисовна Зензинова⁵

^{1,2,3,4,5}Российский государственный университет им. А. Н. Косыгина (Технологии. Дизайн. Искусство), Москва, Россия

¹petrsev46@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9919-5551>

²monvi1255@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-7016-8680>

³samoilova_t@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2727-0011>

⁴1860712@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-0536-4044>

⁵jzenzinova1@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0001-7040-7859>

МОДЕЛЬ УДЛИНЕНИЯ И РАЗРЫВА ТКАНОГО ПОЛОТНА С УЧЕТОМ НЕОДНОРОДНОСТИ И ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ НИТЕЙ ОСНОВЫ И УТКА

Аннотация. В статье приведены результаты разработки компьютерной имитационной модели растяжения и разрыва прямоугольного образца тканого полотна. Модель позволяет задавать модуль упругости, предел прочности и случайные вариации этих показателей на участках нитей основы и утка по их длине. Алгоритм моделирования предусматривает обрыв нитей основы, перераспределение нагрузки и деформации между участками нитей и позволяет получить детальную картину динамики деформации образца ткани до его разрыва. Приведены примеры результатов моделирования, влияния степени взаимодействия между двумя системами нитей на особенности распределения деформации по участкам нитей основы. Показана близость результатов моделирования по разработанному алгоритму и полученных методом конечных элементов и отмечены преимущества предложенного алгоритма.

Ключевые слова: тканое полотно, растяжение, разрыв, неравномерность, взаимосвязь основы и утка, компьютерная модель, статистическая имитация, динамика разрыва

Для цитирования: Модель удлинения и разрыва тканого полотна с учетом неоднородности и взаимодействия нитей основы и утка / П. А. Севостьянов, В. И. Монахов, Т. А. Самойлова, Е. Н. Вахромеева, Ю. Б. Зензинова // Технологии и качество. 2021. № 3(53). С. 41–47. <https://doi.org/10.34216/2587-6147-2021-3-53-41-47>.

Original article

Petr A. Sevostyanov¹

Vladimir I. Monakhov²

Tatiana A. Samoilo³

Ekaterina N. Vakhromeeva⁴

Julia B. Zenzinova⁵

^{1,2,3,4,5}Russian State University named after A. N. Kosygin (Technologies. Design. Art), Moscow, Russia

A MODEL OF THE WOVEN FABRIC ELONGATION AND BREAKING WITH INFLUENCE OF WARP AND WEFT THREADS UNEVENNESS AND INTERACTION

Abstract. The article presents the results of development of the woven fabric rectangular sample stretching and tearing computer simulation model. The model allows to set the sample size, elastic modulus and tensile breaking strength of the threads, random variations of these indicators for the warp and weft threads along their length. The modelling algorithm provides for the breakage of the warp threads, the redistribution of stress and strain between the sections of the threads and allows to get a detailed picture of the fabric sample deformation dynamics before it breaks. Examples of modelling results, the influence of the interaction degree between two systems of threads on the features of the strain distribution over the sections of the warp threads

are given. The similarity of the simulation results according to the developed algorithm and the finite element method is shown, and the advantages of the proposed algorithm are noted.

Keywords: woven fabric, stretching, rupture, unevenness, warp and weft relationship, computer model, statistical simulation, rupture dynamics

For citation: Sevostyanov P. A., Monakhov V. I., Samoilova T. A., Vakhromeeva E. N., Zenzinova J. B. A model of the woven fabric elongation and breaking with influence of warp and weft threads unevenness and interaction. *Technologies & Quality*. 2021. No 3(53). P. 41–47. (In Russ.) <https://doi.org/10.34216/2587-6147-2021-3-53-41-47>.

Растяжение прямоугольного образца тканого полотна с постоянной скоростью (вдоль основы) до разрыва является базовым исследованием его физико-механических свойств [1–3]. Получаемая информация важна, например, при использовании полотна в качестве армирующего компонента композитного материала [4, 5]. Одноосное растяжение сопровождается уменьшением ширины и толщины образца. В начале растяжения деформация похожа на деформацию образца из однородного сплошного материала [6–8]. Можно подобрать модуль упругости и коэффициент Пуассона этого материала так, что его деформация совпадет с деформацией ткани. Однако есть принципиальное различие между сплошным и тканым образцами [9–13]. В образце из сплошного материала действующая в каждой точке внешняя растягивающая нагрузка распределяется по всем направлениям каждого элемента материала в соответствии с тензором упругости материала. При растяжении образца в тканом полотне проявляется его структура, образованная двумя системами нитей основы и утка.

Для моделирования можно выделить следующие уровни детализации:

1) уровень сплошной среды (структурой ткани пренебрегаем) [4, 8];

2) уровень однонаправленной структуры – считаем, что в полотне растяжению сопротивляются только нити основы. Уточные нити создают своего рода поле сопротивления растяжению, действующее вдоль каждой нити основы, перераспределяя нагрузку между нитями основы [11, 12];

3) уровень сетки – нити основы и утка расположены в одной плоскости – плоскости полотна – и первоначально образуют прямоугольную сетку с жесткими связями в точках пересечения [13, 14];

4) каждая нить основы и утка – это цилиндр круглого или овального сечения [3, 15]. Ось цилиндра изогнута в плоскостях, перпендикулярных плоскости полотна в соответствии с раппортом переплетения. Взаимодействие между нитями происходит через давление нитей друг на друга и силы трения;

5) нити основы и утка в процессе прибора подверглись столь сильным деформациям локального изгиба и сжатия, что заполняют собой весь объем полотна [14, 16–18]. Формы поперечных сечений и продольного положения нитей в ткани далеки от правильных.

Геометрически тканое полотно является единым образованием. Однако механически плотность материала и его физико-механические характеристики подвержены не только регулярным вариациям из-за различий в плотности основных и уточных нитей и переплетения, но и случайным вариациям их расположения и деформации. Квантование функций, необходимое для реализации модели на компьютере, естественным образом может быть согласовано с нитями основы и утка.

Структурные особенности тканого полотна в явном виде проявляются на этапе возникновения и развития разрыва образца. Из многочисленных и надежных натуральных экспериментов хорошо известно [1, 2, 10, 14, 15], что разрушение ткани начинается с разрыва отдельных нитей основы в разных точках образца. При этом прикладываемая к нему нагрузка перераспределяется между еще не разорвавшимися нитями. Уточные нити через свое взаимодействие с основой передают нагрузку на части разорванных нитей. Поэтому они продолжают участвовать в сопротивлении растяжению. При дальнейшем нарастании растяжения происходит локализация всей нагрузки и, соответственно, разрывов в пределах одной или нескольких близлежащих уточин. Завершается разрыв тканого полотна разрывом всех основных нитей в пределах узкой полосы из одной или нескольких соседних уточных нитей.

Ниже описывается компьютерная модель имитации растяжения и разрыва. Алгоритм имитации основан на описанном выше механизме возникновения и распространения разрывов основных нитей и перераспределения растягивающей внешней нагрузки на оставшиеся в поперечном сечении образца нити основы.

Обобщенный алгоритм имитации включает следующие шаги.

1. Задание параметров моделируемой системы и начальных условий.

2. Генерация для всех участков обеих систем нитей их геометрических и механических характеристик: длины, толщины, модуля упругости, разрывной нагрузки.

3. Задание приращения растяжения образца, пересчет его в растяжение основных нитей, расчет механических напряжений для каждого участка нитей.

4. Поиск локальных максимумов среди значений напряжений, выделение разорвавшихся участков.

5. Коррекция растяжения всех участков нитей обеих систем с учетом разорванных участков и локальных центров наибольшего напряжения.

6. Накопление результатов одного шага растяжения.

7. Проверка наличия разрыва образца по всей ширине. Если нет, то возврат к п. 3, иначе – завершение одного прогона модели.

Алгоритм моделирования реализован программными средствами системы Matlab. На рис. 1 наглядно показано распределение деформации участков нитей основы для пяти выборочно отобранных шагов растяжения. 1-й кадр сверху показывает начальное распределение длины участков основных нитей, близкое к равномерному, но со случайными вариациями. Интенсивность деформации участков основных нитей показана цветовой гаммой* в относительной шкале. Чем больше деформация, тем «краснее» цвет. 2-й кадр соответствует небольшому растяжению образца и показывает возникновение нескольких локальных центров концентрации деформаций в полотне.

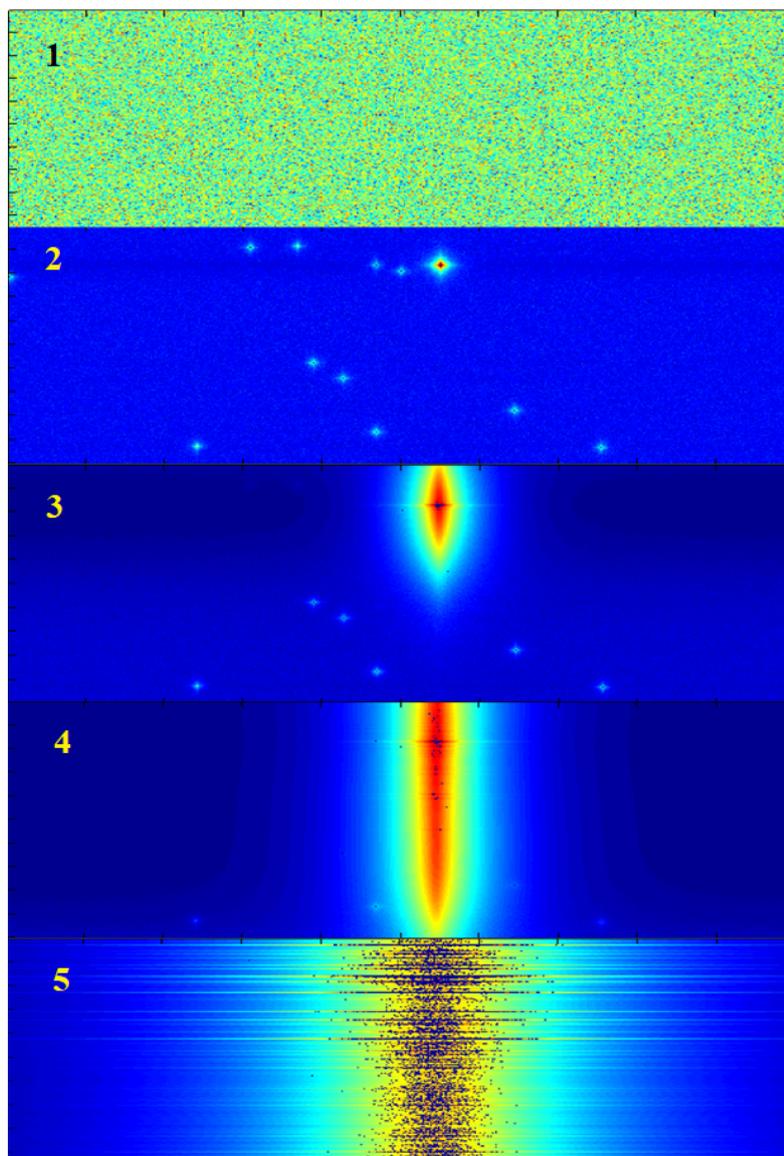


Рис. 1. Отдельные кадры развития деформации в образце ткани. Основные нити направлены по горизонтали, уточные – по вертикали *

* Полноцветная версия представлена на сайте. URL: <https://tik.ksu.edu.ru>.

На 3-м кадре видно развитие одного из центров, который в сравнении с другими центрами намного превосходит их по величине концентрируемой в нем деформации. 4-й кадр показывает распространение деформации вдоль расположенных рядом нитей утка по всей ширине образца. На 5-м, самом нижнем кадре видны отмеченные темным цветом нити основы, которые разорвались и практически не участвуют в сопротивлении образца растяжению. Таким образом, построенная имитационная модель воспроизводит динамику развития деформации в прямоугольном образце ткани.

Управление взаимодействием между двумя системами нитей в виде передачи деформации между соседними участками нитей реализовано в модели аналогично [2, 12, 18]. Например, при увеличении взаимосвязи между нитями утка разрывы основных нитей на отдельных участках передается только в узкой окрестности этих участков. Этот эффект показан на рисунках 2 и 3.

Концентрация деформации нитей основы в окрестностях локальных максимумов деформации ведет, вместо одного «лидера», который и собирает вокруг себя всю деформацию, к возникновению нескольких, примерно равноценных областей развития деформации. На рис. 4 показаны результаты моделирования растяжения прямоугольного образца методом конечных элементов,

как это описано в литературе [2, 12, 13]. При этом тканое полотно моделировалось как сплошная деформируемая среда. Модуль упругости и коэффициент Пуассона среды менялись периодически для имитации переплетения нитей. Моделировались также и случайные вариации этих параметров.

ВЫВОДЫ

1. Предложен алгоритм статистической имитации динамики растяжения и разрыва тканого полотна, реализованный в виде программы в системе Matlab.

2. Алгоритм позволяет учитывать взаимодействие нитей основы и утка, их неоднородность по характеристикам деформации по участкам переплетения вдоль нитей.

3. Имитация воспроизводит процесс возникновения и развития областей концентрации деформации вплоть до разрыва всех нитей основы вдоль уточных нитей.

4. Рассмотрена аналогия между предложенным алгоритмом и моделью деформируемой сплошной среды с применением метода конечных элементов. В отличие от последнего предлагаемый алгоритм учитывает специфику взаимодействия двух систем нитей, отличающую тканое полотно от деформируемой сплошной среды.

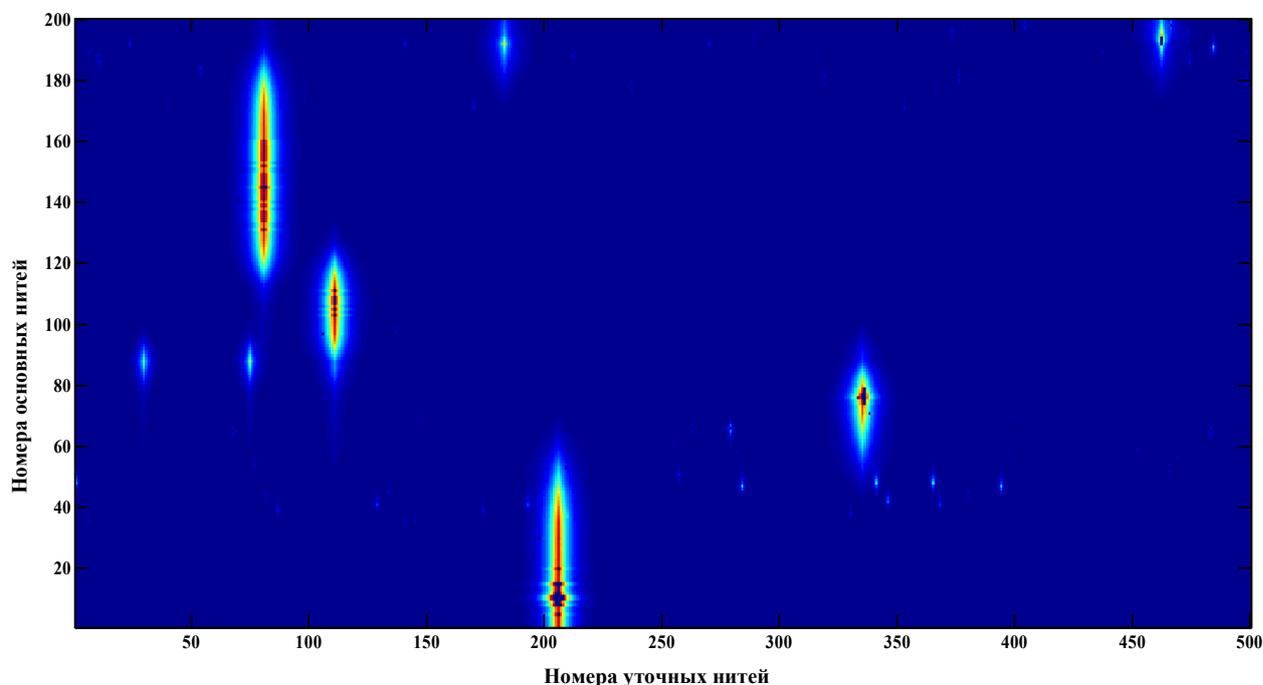


Рис. 2. Сильное взаимодействие между уточными нитями и слабое взаимодействие между основными нитями*

* Полноцветная версия представлена на сайте. URL: <https://tik.ksu.edu.ru>.

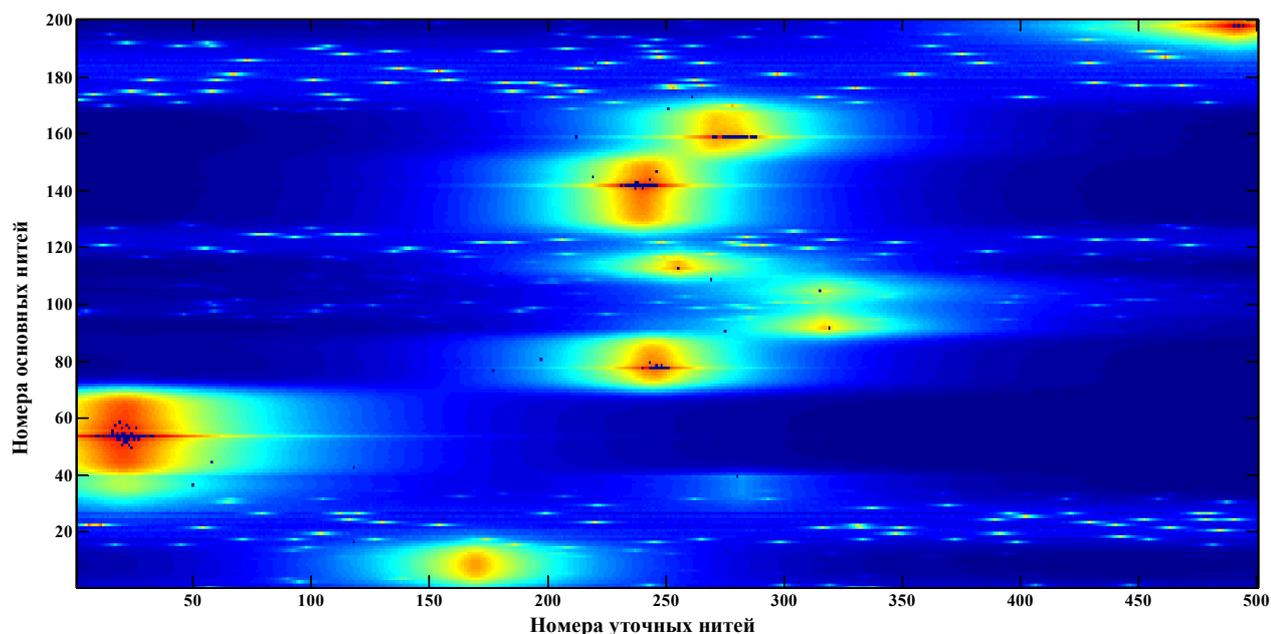


Рис. 3. Слабое взаимодействие между уточными нитями и сильное взаимодействие между основными нитями *

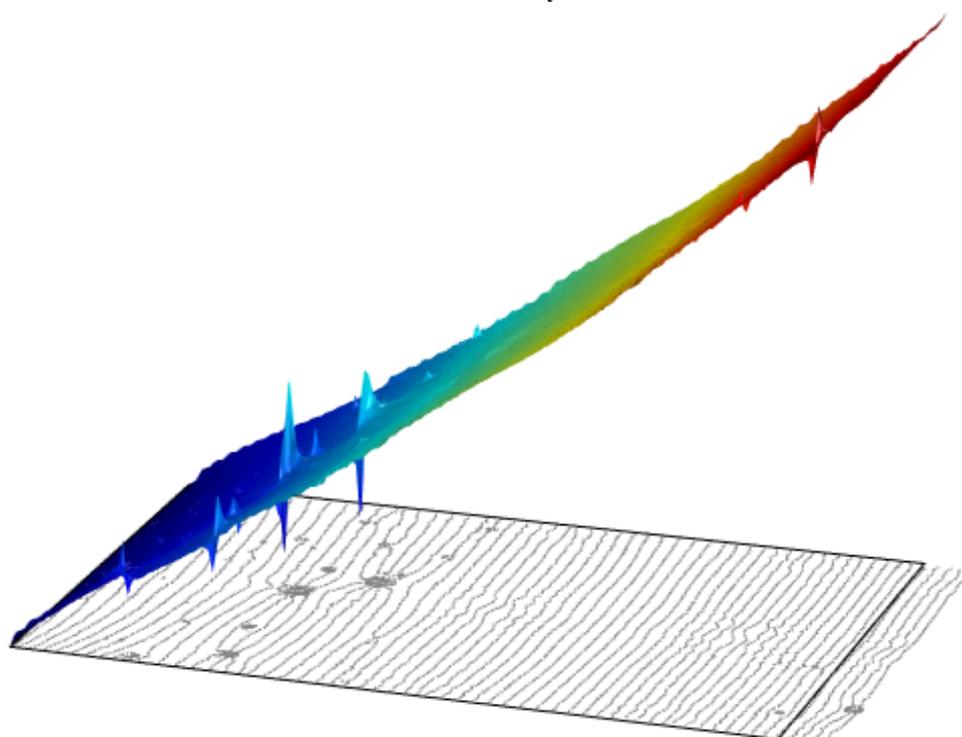


Рис. 4. Распределение удлинений в образце при его растяжении при периодически меняющемся модуле упругости со случайной вариацией

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Методы и средства исследований технологических процессов в ткачестве / С. Д. Николаев, А. А. Мартынова, С. С. Юхин, Н. Л. Власова. М. : МГТУ им. А. Н. Косыгина, 2003. 336 с.
2. Севостьянов П. А. Компьютерные модели в механике волокнистых материалов : монография. М. : Тисо Принт, 2013. 254 с.
3. Lomov S. V., Truevtzev F. V., Cassidy C. A Predictive Model for the Fabric-to-Yarn Bending Stiffness Ratio of a Plain-woven Set Fabric // Textile Research Journal. 2000. No 70(12). P. 1088–1096.

* Полноцветная версия представлена на сайте. URL: <https://tik.ksu.edu.ru>.

4. Szablewski P. Estimating engineering constants of a selected model of textile composite // *Indian Journal of Fibre & Textile Research*. 2015. No 40, Sept. P. 236–242.
5. Ghane M., Lari V. Z. Estimating the deflection of weft yarn in plain woven fabric using yarn pull out test // *Indian Journal of Fibre & Textile Research*. 2014. No 39, Dec. P. 394–400.
6. Modelling of surface roughness based on geometrical parameters of woven fabrics / N. Ezazshahabi, M. A. Tehran, M. Latifi, K. Madanipour // *Indian Journal of Fibre & Textile Research*. 2017. No 42, March. P. 43–50.
7. Singh M. K., Behera B. K. Effect of residual extensibility of polyester filament yarn on low-stress mechanical properties of fabric // *Indian Journal of Fibre & Textile Research*. 2018. No 43, March. P. 53–58.
8. Alam Md. S., Majumdar A., Ghosh A. Role of fibre, yarn and fabric parameters on bending and shear // *Indian Journal of Fibre & Textile Research*. 2019. No 44, March. P. 9–15.
9. Velumani A., Kandhavadi P., Parthiban M. Influence of blend proportion on mechanical properties of banana/cotton blended knit fabric // *Indian Journal of Fibre & Textile Research*. 2021. No 46, March. P. 41–47.
10. Замышляева В. В., Смирнова Н. А., Лапшин В. В. Анализ методов определения показателей жесткости текстильных материалов при их растяжении // *Известия вузов. Технология текстильной промышленности*. 2009. № 4. С. 10–12.
11. Севостьянов П. А., Тихомирова М. Л. Трение между нитями в тканых полотнах при их удлинении // *Технологии и качество*. 2019. № 3(45). С. 22–27.
12. Sevostyanov P. A., Samoilo T. A., Monakhov V. V. Finite element modelling of nonuniformity in the strain distribution for warp yarns in fabrics // *Fibre chemistry*. 2019. Vol. 50, No 5. P. 473–476.
13. Sevostyanov P. A., Samoilo T. A. Model and energy aspects for propagation of strain and mechanical stresses in textile fabrics // *Fibre chemistry*. 2018. Vol. 50, No 2. P. 108–110.
14. Севостьянов П. А., Самойлова Т. А. Компьютерная модель статистической динамики разрыва тканого полотна при одноосном удлинении // *Известия вузов. Технология текстильной промышленности*. 2020. № 1(385). С. 197–202.
15. Примаченко Б. М., Прохорова И. А. Влияние параметров строения на жесткость хлопчатобумажной ткани при растяжении // *Известия вузов. Технология текстильной промышленности*. 1987. № 2. С. 106–108.
16. Севостьянов П. А. О закономерности расположения утка в ткани // *Известия вузов. Технология текстильной промышленности*. 1971. № 2. С. 89–92.
17. Севостьянов П. А. Взаимосвязь между неровнотой пряжи и неровнотой ткани // *Известия вузов. Технология текстильной промышленности*. 1971. № 4. С. 95–98.
18. Севостьянов П. А., Самойлова Т. А., Монахов В. В. Распределение деформаций по основе и влияние уточных нитей на деформацию при моделировании удлинения основной нити в ткани // *Известия вузов. Технология текстильной промышленности*. 2018. № 3(375). С. 163–165.

REFERENCES

1. Nikolaev S. D., Martynova A. A., Yuhin S. S., Vlasova N. L. *Methods and instruments of Technological Processes Researches in Weaving**. Moscow, MGTU after A. N. Kosygin, 2003. 336 p. (In Russ.)
2. Sevostyanov P. A. *Computer Models in Mechanics of Textile Materials*. Moscow, Tiso Print, 2013. p. 254. (In Russ.)
3. Lomov S. V., Truevitzev F. V., Cassidy C. A Predictive Model for the Fabric-to-Yarn Bending Stiffness Ratio of a Plain-woven Set Fabric. *Textile Research Journal*. 2000;70(12):1088–1096.
4. Szablewski P. Estimating engineering constants of a selected model of textile composite. *Indian Journal of Fibre & Textile Research*. 2015;40,Sept.:236–242.
5. Ghane V., Lari V. Z. Estimating the deflection of weft yarn in plain woven fabric using yarn pull out test. *Indian Journal of Fibre & Textile Research*. 2014;39,Dec.:394–400.
6. Ezazshahabi N., Tehran M. A., Latifi M., Madanipour K. Modelling of surface roughness based on geometrical parameters of woven fabrics. *Indian Journal of Fibre & Textile Research*. 2017;42, March:43–50.
7. Singh M. K., Behera B. K. Effect of residual extensibility of polyester filament yarn on low-stress mechanical properties of fabric. *Indian Journal of Fibre & Textile Research*. 2018;43, March:53–58.
8. Alam Md. S., Majumdar A., Ghosh A. Role of fibre, yarn and fabric parameters on bending and shear. *Indian Journal of Fibre & Textile Research*. 2019;44, March:9–15.

* Перевод названия источника выполнен автором статьи / Translated by author of the article.

9. Velumani A., Kandhavadiyu P., Parthiban M. Influence of blend pro-portion on mechanical properties of banana/cotton blended knit fabric. *Indian Journal of Fibre & Textile Research*. 2021;46, March:41–47.
10. Zamyshlyayeva V. V., Smirnova N. A., Lapshin V. V. Analysis of Methods of Determination of Textile Materials Stiffness in Elongation. *Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii. Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti* [Textile Industry Technology (Series Proceedings of Higher Educational Institutions)]. 2009;4(318):10–12. (In Russ.)
11. Sevostyanov P. A., Tikhomirova M. L. Friction among the Threads of Weaving Fabrics during their Elongation. *Tekhnologiya i kachestvo* [Technologies & Quality]. 2019;3(45):22–27. (In Russ.)
12. Sevostyanov P. A., Samoiloza T. A., Monakhov V. V. Finite element modelling of nonuniformity in the strain distribution for warp yarns in fabrics. *Fibre chemistry*. 2019;50,5:473–476.
13. Sevostyanov P. A., Samoiloza T. A. Model and energy aspects for propagation of strain and mechanical stresses in textile fabrics. *Fibre chemistry*. 2018;50,2:108–110.
14. Sevostyanov P. A., Samoiloza T. A. Computer Model of the Breaking Process of Woven Fabric during One Dimensional Elongation with Method of Statistical Dynamics. *Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii. Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti* [Textile Industry Technology (Series Proceedings of Higher Educational Institutions)]. 2020;1(385):197–202. (In Russ.)
15. Primachenko B. M., Prohorova I. A. The Influence of the Structural Parameters on stiffness of the Cotton Fabric during Elongation*. *Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii. Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti* [Textile Industry Technology (Series Proceedings of Higher Educational Institutions)]. 1987;2:106–108. (In Russ.)
16. Sevostyanov P. A. About the Regularity of the Location of the Weft in the Fabric. *Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii. Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti* [Textile Industry Technology (Series Proceedings of Higher Educational Institutions)]. 1971;2:89–92. (In Russ.)
17. Sevostyanov P. A. The relationship between yarn unevenness and fabric unevenness. *Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii. Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti* [Textile Industry Technology (Series Proceedings of Higher Educational Institutions)]. 1971;4:95–98. (In Russ.)
18. Sevostyanov P. A., Samoiloza T. A., Monahov V. V. Warp Strain Distribution and Influence of Weft on it with Simulation of Warp Elongation in Fabrics. *Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii. Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti* [Textile Industry Technology (Series Proceedings of Higher Educational Institutions)]. 2018;3(375):163–165. (In Russ.)

Статья поступила в редакцию 20.06.2021
Принята к публикации 18.08.2021