

РАЗРАБОТКА ИМИТАЦИОННОЙ МОДЕЛИ ПРЯЖИ С ВЛОЖЕНИЕМ ЭЛЕКТРОПРОВОДЯЩИХ ВОЛОКОН

DEVELOPMENT OF SIMULATION MODEL OF YARN CONTAINING CONDUCTIVE FIBERS

УДК 677.072

Д.Б. Рыклин*, В.В. Давидюк

Витебский государственный технологический университет

<https://doi.org/10.24411/2079-7958-2018-13505>

D. Ryklin*, V. Davidziuk

Vitebsk State Technological University

РЕФЕРАТ

МОДЕЛИРОВАНИЕ, ПРЯЖА, ЭЛЕКТРОПРОВОДЯЩИЕ ВОЛОКНА, ВЕКИНОХ

Работа посвящена моделированию структуры пряжи, вырабатываемой с вложением электропроводящих волокон для производства текстильных материалов с антистатическими свойствами. Целью разработки имитационной модели структуры пряжи с вложением электропроводящих волокон является определение рационального состава пряжи, обеспечивающего стабильность ее электрических свойств. При моделировании учитывается миграция волокон в сечениях пряжи.

Разработана модель, которая является основой для проведения исследований по оценке влияния структуры и состава одиночной пряжи с вложением электропроводящих волокон на ее свойства, а также для создания более сложной модели крученой пряжи.

ABSTRACT

SIMULATION, CONDUCTIVE FIBERS, BEKINOX

The paper is devoted to simulation of the structure of blended yarns containing conductive fibers for manufacturing textiles with antistatic properties.

The objective of the simulation model development was determining of reasonable blended yarn structure which is a guarantee of its electrical properties permanence. The development model takes into account the fibers migration in yarn cross-sections.

The model can be used for investigation to assess the influence of the structure and composition of a single blended yarn containing conductive fibers on its properties, as well as for development more complex model of twisted yarn.

Одним из путей повышения эффективности использования установленного оборудования является развитие ассортимента пряжи и комбинированных нитей для изготовления текстильных материалов специального назначения. Именно разработка специального текстиля считается основным способом сохранения текстильного производства в большинстве стран Западной Европы, в то время как множество компаний, выпускавших традиционную продукцию, или закрыли свои фабрики, или перенесли производство в азиатские страны.

Современный ассортимент волокон со спе-

циальными свойствами достаточно широк. Он включает высокопрочные, огнестойкие, электропроводные волокна, а также волокна с антибактериальными, терморегулирующими и другими свойствами.

Введение в структуру текстильного материала электропроводящих волокон и нитей позволяет достигнуть высокого антистатического эффекта, обеспечить экранирование электромагнитного излучения в широком частотном диапазоне, а также интегрировать различные элементы в одежду и другие изделия с целью придания им заданных функциональных свойств, то есть

* E-mail: ryklin-db@mail.ru (D. Ryklin)

создавать образцы «умного текстиля» (smart textile). С учетом актуальности данного направления разработке и исследованию свойств электропроводящих текстильных материалов посвящено множество публикаций [1–6].

Данная работа посвящена моделированию структуры пряжи, вырабатываемой с вложением электропроводящих волокон для создания антистатического эффекта. Скопление статического напряжения во взрывоопасной среде опасно тем, что искра даже самой низкой энергии, образующаяся при трении предметов или элементов одежды друг о друга, способна привести к возгоранию или даже взрыву. Одним из способов снятия статического электричества является распределение заряда с места скопления по площади всего костюма и обеспечение его стекания. Данные эффекты обеспечивают ткани с металлическими (Bekinox®), карбонизированными (Resistat®) или углеродными нитями [7].

В настоящее время наиболее известным и распространенным среди волокон, используемых для создания антистатических тканей, является волокно Bekinox, производимое компанией Bekaert (Бельгия). Данное волокно представляет собой отрезки проволоки из нержавеющей стали. Благодаря тому, что волокно изготовлено из 100 % металла (электропроводность металлов в тысячи раз выше электропроводности неметаллических материалов), скорость распределения и стекания заряда с поверхности этой ткани значительно превышает аналоги.

Ткани с вложением волокон Bekinox имеют удельное сопротивление $10-10^5$ Ом, что характеризует ткани как антистатические. Такие ткани сохраняют антистатические свойства даже после 100 стирок. При этом вложение электропроводящих волокон не влияет на потребительские свойства одежды (гигиеничность, жесткость и т.д.).

Целью разработки имитационной модели структуры пряжи с вложением электропроводящих волокон является определение рационального состава пряжи, обеспечивающего стабильность ее электрических свойств.

Под обеспечением стабильности свойств в данном случае понимается получение такой структуры нити, при которой возникает непрерывная последовательность контактов электро-

проводящих волокон от первого до последнего рассматриваемого сечения на отрезке заданной длины.

Данная работа посвящена реализации первого этапа решения данной задачи – разработке модели одиночной пряжи, в состав которой входят электропроводящие волокна.

На последующих этапах планируется моделировать структуру крученой пряжи, то есть пряжи, полученной при сложении двух одинаковых по составу и линейной плотности одиночных нитей. Необходимо отметить, что упрощение такой модели сведением ее к одиночной нити удвоенной линейной плотности некорректно, так как при этом не учитываются эффекты, возникающие в зоне контакта одиночных нитей.

Разработка имитационной модели одиночной пряжи на данном этапе работы основывалась на модели идеального равномерного продукта. Согласно данной модели продукт рассматривается как поток волокон, плотность передних концов волокон которого на участке определенной длины подчиняется закону Пуассона, то есть считается, что вероятность появления n передних (или задних) концов волокон в интервале времени $(t, t+\tau)$ находится по формуле

$$P_n = \frac{(\lambda\tau)^n e^{-\lambda\tau}}{n!}, \quad (1)$$

где λ – интенсивность потока волокон, равная математическому ожиданию числа передних концов волокон в единицу времени (или на единицу длины продукта).

Для каждого (k -того) компонента смешанной пряжи

$$\lambda_k = \frac{T_{II}}{T_B} \frac{\Delta}{l_k} \beta_k, \quad (2)$$

где T_{II} – линейная плотность пряжи, текс; \bar{T}_B – средневзвешенная линейная плотность волокон в пряже, текс; Δ – дискретность модели, то есть расстояние между двумя последовательно моделируемыми сечениями, мм; l_k – средняя длина волокна k -того компонента, мм; β_k – доля k -того компонента в пряже.

С учетом поставленной в работе цели и для упрощения ее достижения в модели рассматривались только электропроводящие волокна, принимая допущение о том, что другие виды волокон и воздушная среда между ними не являются проводниками электрического тока.

Пряжа относится к одномерным текстильным материалам в отличие от двумерных тканей и трехмерных изделий. В большинстве случаев данный факт учитывается при построении ее математической модели. Однако при решении поставленной задачи целесообразно было рассматривать пряжу как трехмерный объект, в котором конфигурация каждого волокна имеет сложную форму вследствие совместной миграции в сечениях по всей длине волокна. Миграция волокон в разрабатываемой модели является существенно значимым явлением, определяющим возникновение контактов между волокнами.

При разработке модели было принято допущение о том, что в процессе формирования пряжи на кольцевой прядильной машине задний конец волокна обязательно образует ворсинку. Это допущение основано на представлении о том, что задний конец волокна, выходя из вытяжного прибора, попадает в треугольник кручения, часть волокон которого одновременно зажата в пряже и в выпускной паре. Эти волокна стремятся переместиться к оси пряжи и выталкивают задние концы волокон, которые не зажаты в вытяжном приборе. При этом задние концы таких волокон образуют ворсинки, длина которых сравнима с длиной треугольника кручения [8].

Таким образом, построение модели существенно упрощается, если допустить, что все задние концы волокон находятся в наружном слое пряжи. При этом удобнее выбрать направление моделирования не от передних концов волокон к задним, а наоборот.

В разработанной модели моделирование осуществляется по следующему алгоритму:

1. В каждом сечении пряжи моделируется количество задних концов электропроводящих волокон как случайная величина, распределенная по закону Пуассона (1) с учетом заранее введенных исходных данных.

2. Для каждого появившегося конца волокна определяется его положение. В общем виде, положение волокна j в сечении i определяется

в полярных координатах двумя параметрами: радиусом r_{ij} , то есть расстоянием от оси пряжи до оси волокна, и углом (азимутом) φ_{ij} . С учетом принятого ранее допущения для каждого конца волокна считаем

$$r_{ij} = R_{II} - R_B, \quad (3)$$

где R_{II} и R_B – соответственно, радиусы пряжи и волокна, мм, определяемые по формуле

$$R_{II} = 0,01785 \sqrt{\sum \frac{T_{II} \beta_k}{\gamma_{Bk}}}, \quad (4)$$

где γ_{Bk} – плотность волокна k -того компонента, г/м³;

$$R_B = 0,01785 \sqrt{\frac{T_B}{\gamma_B}}, \quad (5)$$

где T_B – линейная плотность электропроводящего волокна, текс; γ_B – плотность электропроводящего волокна, г/м³.

Полярный угол φ_{ij} определяется как случайная величина, которая имеет равномерный закон распределения в диапазоне от 0 до 2π (рисунок 1).

3. Также в каждое сечение пряжи, кроме первого, попадают участки волокон, мигрировавшие относительно своего первоначального положения (рисунок 2). Для описания процесса миграции вводятся следующие случайные величины:

– радиус миграции, определяющий интенсивность данного процесса и имеющий нормальный закон распределения с заранее заданными параметрами;

– угол миграции, который определяет направление перемещения участка волокна в каждом последующем сечении. Данная величина распределена по равномерному закону в диапазоне от 0 до 2π .

При моделировании миграции также осуществляется проверка нахождения сечения волокна внутри сечения пряжи, в соответствии с которой ось волокна в каждом сечении не должна

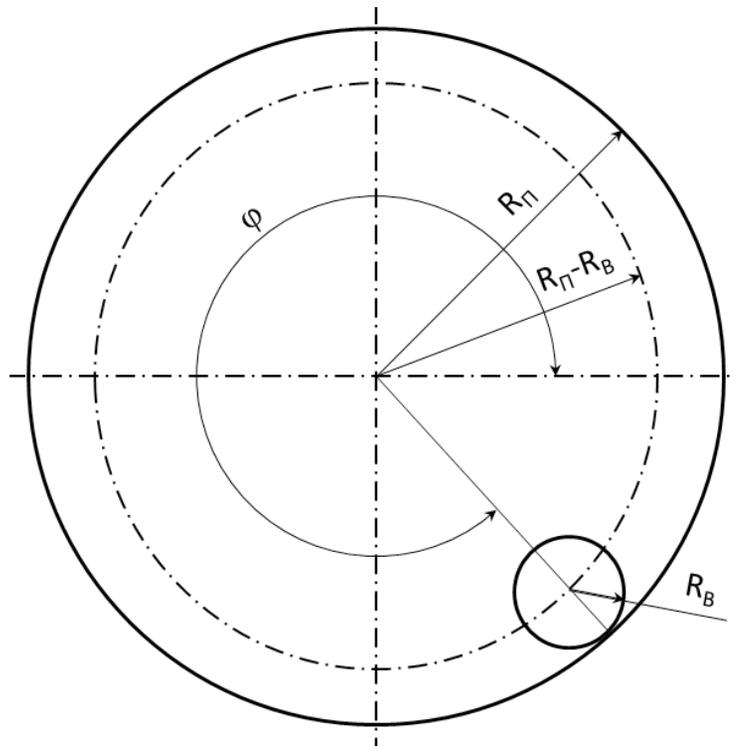


Рисунок 1 – Положение заднего конца волокна в сечении пряжи

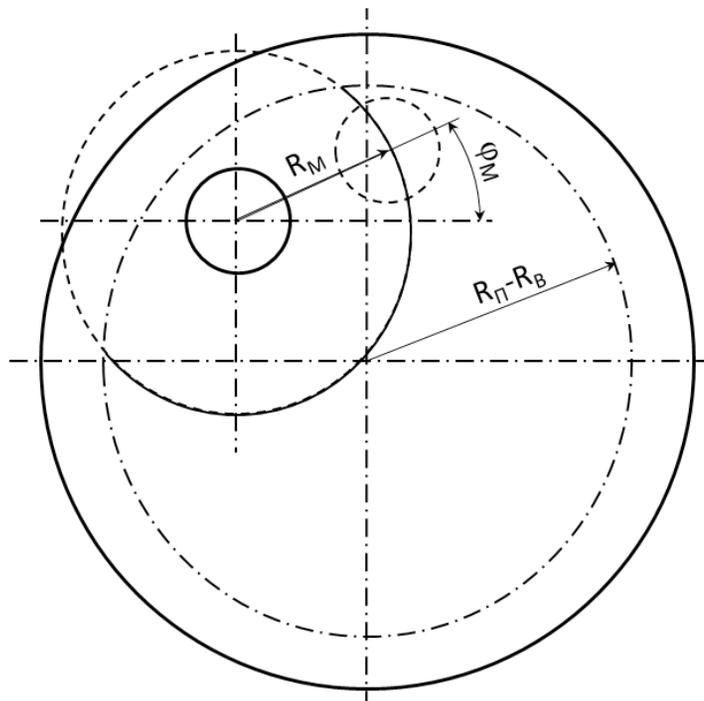


Рисунок 2 – Схема миграции волокон в сечении пряжи

удаляться от оси пряжи на величину, превышающую значение, рассчитываемое по формуле (3). На рисунке 2 допустимое положение оси мигрирующего волокна показано сплошной дугой.

4. В связи с тем, что текстильные волокна имеют ограниченную длину, для каждого электропроводящего волокна определяется как первое сечение, в котором оно появляется, так и последнее, в котором оно исчезает. Можно считать, что все электропроводящие волокна имеют одинаковую длину l_B . Количество сечений, в котором каждое волокно присутствует, определяется как целая часть выражения l_B / Δ .

Представленный алгоритм реализован в системе компьютерной алгебры Maple.

Рассмотрим результаты моделирования структуры пряжи линейной плотности 25 *текс* с вложением 80 % хлопкового волокна и 20 % электропроводящих волокон. В качестве элек-

тропроводящих волокон рассматриваются волокна Bekinox линейной плотности 0,86 *текс*. Диаметр этих волокон составляет 12 *мкм*, а номинальная длина – 47 *мм*.

Расчетный диаметр пряжи составил 0,1326 *мм*.

Среднее количество электропроводящих волокон в сечении составляет 5,81. При дискретности модели 10 *мм* среднее количество задних волокон в каждом рассматриваемом сечении оказалось равным 1,237.

Для моделирования процесса миграции волокон были приняты следующие параметры:

- средний радиус миграции $R_M = 0,5 \cdot R_{II} = 0,033$ *мм*;

- среднее квадратическое отклонение радиуса миграции – $\sigma_M = 0,3 \cdot R_M = 0,01$ *мм*.

На рисунке 3 представлены результаты моделирования первых 6 сечений смешанной пряжи

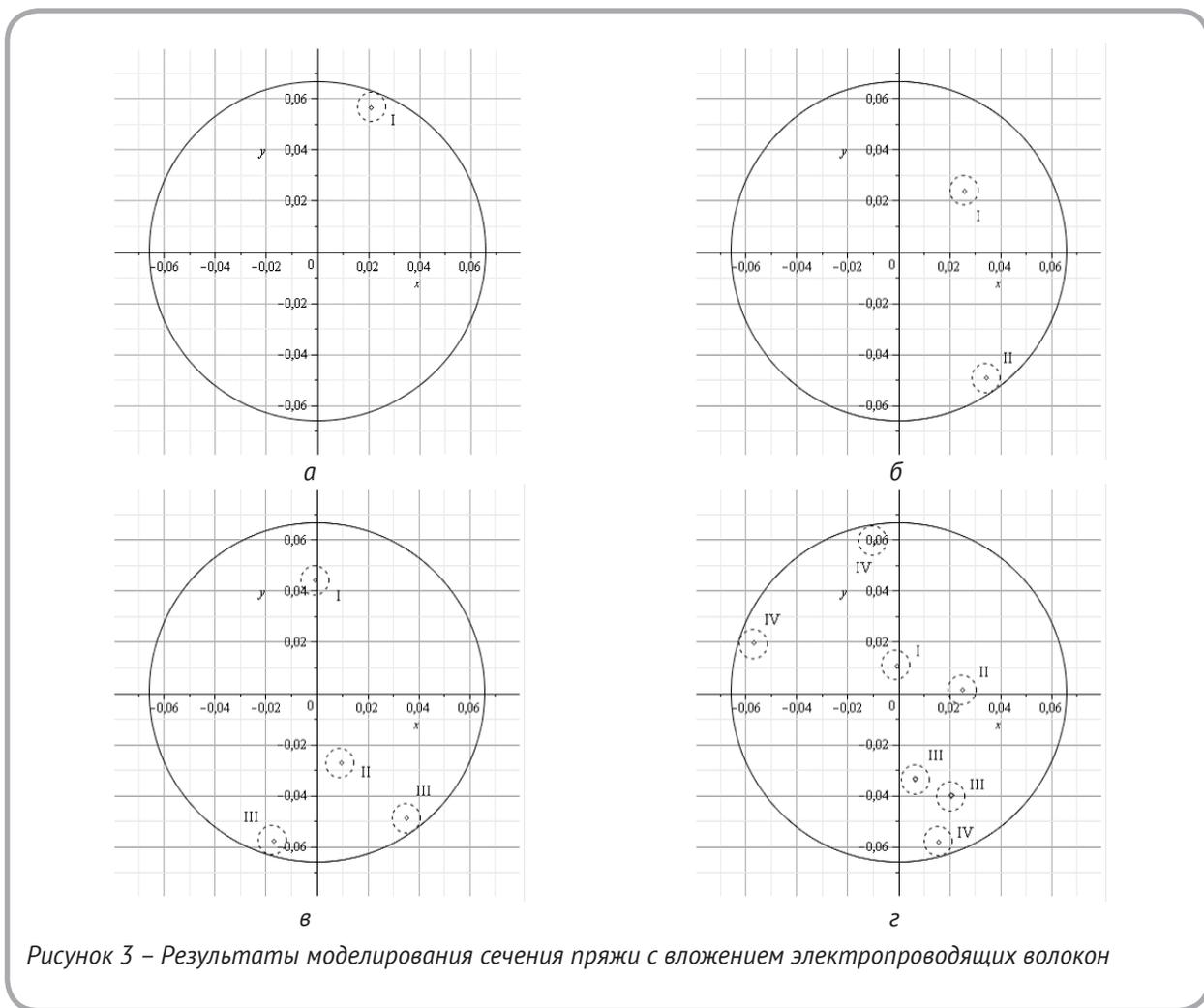


Рисунок 3 – Результаты моделирования сечения пряжи с вложением электропроводящих волокон

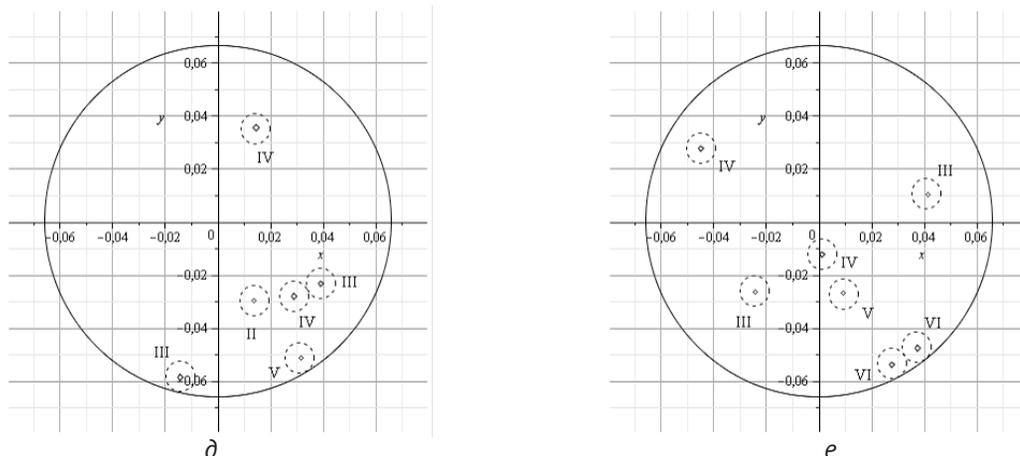


Рисунок 3 – Результаты моделирования сечения пряжи с вложением электропроводящих волокон (окончание)

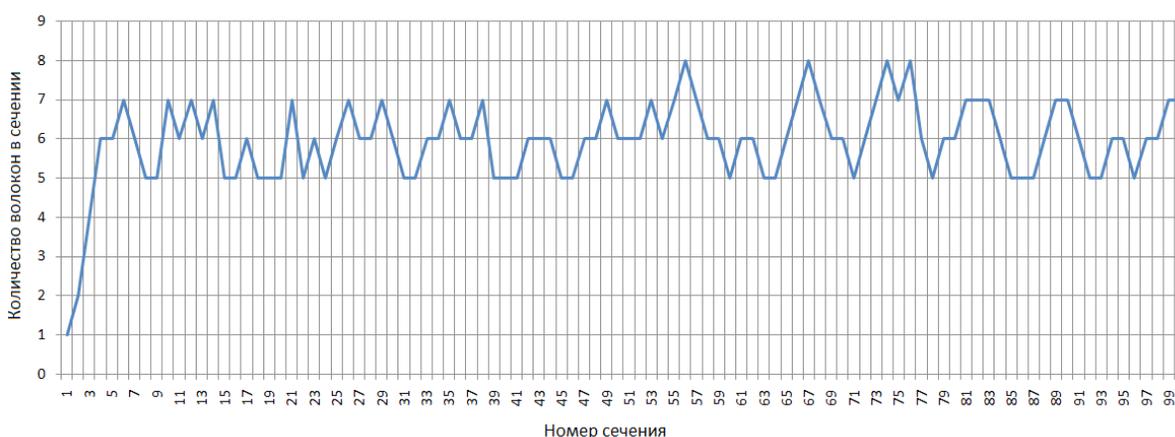


Рисунок 4 – Изменение количества электропроводящих волокон вдоль участка моделируемой пряжи

с вложением 20 % волокон Bekinox. Римскими цифрами обозначены номера сечений, в которых появляется передний конец каждого из волокон.

Анализируя результаты моделирования, представленные рисунках 3 и 4, можно отметить, что увеличение количества электропроводящих волокон в сечении (аналогично увеличению количества волокон других компонентов) пряжи происходит от сечения 1 до сечения 4. Начиная с сечения 5, количество волокон колеблется относительно среднего значения.

Среднее количество волокон в сечении составило в результате моделирования 5,94, что всего на 2,2 % больше расчетного значения.

Данное отклонение свидетельствует о достаточной точности разработанной модели структуры пряжи.

Разработанная модель является основой для проведения исследований по оценке влияния структуры и состава пряжи с вложением электропроводящих волокон, а также для создания более сложной модели крученой пряжи.

Можно предположить, что при производстве крученой пряжи количество контактирующих электропроводящих волокон увеличится в зоне соприкосновения двух скручиваемых стренг, так как эти волокна преобладают в наружном слое одиночной пряжи.

Кроме того, алгоритм моделирования будет

дополнен процедурой оценки непрерывности контактов, создаваемых между электропроводящими волокнами, так как наличие или отсутствие

зоны соприкосновения между волокнами или ее отсутствие не может служить однозначным критерием стабильности свойств пряжи.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Tao, X. (2005), *Wearable Electronics and photonics*. Hong Kong, *The Hong Kong Polytechnic University*, 205 p.
2. Mattila, H. R. (2006), *Intelligent textiles and clothing*. Cambridge. *Woodhead Publishing Limited and CRC Press LLC*, 506 p.
3. Baurley, S. (2004), *Interactive and experiential design in smart textile products and applications*. *Personal and Ubiquitous Computing*, 2004, № 8(3), pp. 274–281.
4. Post, E. R., Orth, M., Russo, P. R., Gershenfeld, N. (2000), *E-broidery: Design and fabrication of textile-based computing*. *IBM System Journal*, № 39, pp. 840–860.
5. Сынков, В. Г., Транковский, Д. В. (2009), Численное моделирование проводимости тканых полотен для спецодежды, *Физико-технические проблемы горного производства*, 2009, вып. 12, С. 130–136.
6. Ryklin, D., Medvetki, S. (2017), Investigation of the technology of conductive yarns manufacturing. *Proceedings of 17th World Textile Conference Autex 2017, IOP Publishing IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering*. Режим доступа: <http://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/254/7/072021/pdf> (Дата доступа 01.10.2018).
7. Материалы сайта <https://vostok.ru>. (Дата доступа 01.10.2018).
8. Рыклин, Д. Б., Коган, А. Г. (2002), *Производство многокомпонентных пряж и комбинированных нитей*, Витебск, УО «ВГТУ», 215 с.

REFERENCES

1. Tao, X. (2005), *Wearable Electronics and photonics*. Hong Kong, *The Hong Kong Polytechnic University*, 205 p.
2. Mattila, H. R. (2006), *Intelligent textiles and clothing*. Cambridge. *Woodhead Publishing Limited and CRC Press LLC*, 506 p.
3. Baurley, S. (2004), *Interactive and experiential design in smart textile products and applications*. *Personal and Ubiquitous Computing*, 2004, № 8(3), pp. 274–281.
4. Post, E. R., Orth, M., Russo, P. R., Gershenfeld, N. (2000), *E-broidery: Design and fabrication of textile-based computing*. *IBM System Journal*, № 39, pp. 840–860.
5. Synkov, V. G., Trankovskij, D. V. (2009), Numerical simulation of the conductivity of woven fabrics for special clothing [Численное моделирование проводимости тканых полотен для спецодежды] *Fiziko-tehnicheskie problemy gornogo proizvodstva – Physical and technical problems of mining production*, 2009, № 12, pp. 130–136.
6. Ryklin, D., Medvetki, S. (2017), Investigation of the technology of conductive yarns manufacturing. *Proceedings of 17th World Textile Conference Autex 2017, IOP Publishing IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering*. Режим доступа: <http://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/254/7/072021/pdf> (Дата доступа 01.10.2018).
7. <https://vostok.ru> (accessed 1 October 2018).
8. Ryklin, D. B., Kogan, A. G. (2002), *Proizvodstvo mnogokomponentnyh prjazh i kombinirovannyh nitej* [Blended and core-spun yarns manufacturing], Vitebsk, VSTU, 215 p.

Статья поступила в редакцию 24. 10. 2018 г.