

УДК 677.072

**МОДЕЛИРОВАНИЕ СТРУКТУРЫ ПРЯЖИ С ВЛОЖЕНИЕМ
ЭЛЕКТРОПРОВОДЯЩИХ ВОЛОКОН
SIMULATION OF YARN STRUCTURE INCLUDED ELECTRICALLY
CONDUCTIVE FIBERS**

**Дмитрий Борисович Рыклин, Виталий Викторович Давидюк
Dmitry B. Ryklin, Vitaliy V. Davidyuk**

*Витебский государственный технологический университет, Беларусь, Витебск
Vitebsk State Technological University, Belarus, Vitebsk
(e-mail: ryklin-db@mail.ru, dav68.by@gmail.com)*

Аннотация: Разработана модель одиночной пряжи, в состав которой входят электропроводящие волокна. Определено влияние линейной плотности пряжи и процентного содержания электропроводящих волокон, а также миграции волокон на среднее количество контактов, возникающих между ними в моделируемых сечениях пряжи.

Abstract: A model of single yarn has been developed which consists of blends included electrically conductive fibers. The influence of the yarn linear density, the percentage of electrically conductive fibers and their migration on the average number of contacts between them in the simulated cross-sections of yarn has been determined.

Ключевые слова: моделирование, пряжа, электропроводящие волокна, Bekinox.

Keywords: simulation, yarn, electrically conductive fibers, Bekinox.

Одним из путей повышения эффективности использования установленного оборудования является развитие ассортимента пряжи и комбинированных нитей для изготовления текстильных материалов специального назначения. Современный ассортимент волокон со специальными 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 создавать образцы «умного текстиля» (smart textile). С учетом актуальности данного направления разработке и исследованию свойств электропроводящих текстильных материалов посвящено множество публикаций [1 – 4].

В настоящее время наиболее известным и распространенным волокном, используемым для создания антистатических тканей, является стальное волокно Bekinox, производимое компанией Bekaert (Бельгия).

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

Несмотря на то, что пряжа является одномерным текстильным материалом, при решении поставленной задачи целесообразно ее рассматривать, как трехмерный объект, в котором конфигурация каждого волокна имеет сложную форму вследствие миграции в сечениях по всей длине волокна. Миграция волокон в разрабатываемой модели является существенно значимым явлением, определяющим возникновение контактов между волокнами.

Таким образом, оценка влияния миграции волокон на среднее количество контактов между ними, является одной из наиболее приоритетных задач.

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 зажаты в пряже и в выпускной паре. В процессе кручения эти волокна стремятся переместиться к оси пряжи, что проявляется в их миграции.

Таким образом, построение модели существенно упрощается, если допустить, что все задние концы волокон находятся в наружном слое пряжи. При этом удобнее выбрать направление моделирование 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, то есть считается, что вероятность появления ровно n задних концов волокон в интервале времени $(t, t+\tau)$ находится по формуле (1), с учетом заранее введенных исходных данных.

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

где λ – интенсивность потока волокон.

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

3. Также в каждое сечение пряжи, кроме первого, попадают участки волокон, мигрировавшие относительно своего первоначального положения (рисунок 1). Для описания процесса миграции вводятся следующие случайные величины:

- радиус миграции R_M , определяющий интенсивность данного процесса и имеющий нормальный закон распределения с заранее заданными параметрами;
- угол миграции ϕ_M , 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. На рисунке 1 допустимое положение оси мигрирующего волокна показано сплошной дугой, R_{II} – радиус пряжи, R_B – радиус электропроводящего волокна.

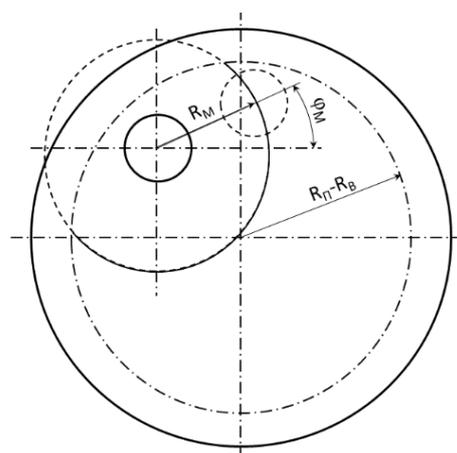


Рисунок 1 – Схема миграции волокон в сечении пряжи

3. 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, после которого 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 $\left(\frac{l_B}{\Delta}\right)$, где Δ – расстояние между рассматриваемыми сечениями пряжи.

Представленный алгоритм реализован в системе компьютерной алгебры Maple.

В качестве критерия оценки стабильности свойств пряжи было принято среднее количество контактов, возникающих между электропроводящими волокнами в рассматриваемых сечениях.

В связи со сложностью определения фактической миграции электропроводящих волокон было осуществлено моделирование структуры пряжи линейной плотности 40 текс с вложением 80 % хлопкового волокна и 20 % электропроводящих волокон Векінох линейной плотности 0,9 текс для оценки чувствительности разработанной модели к вариации параметров, характеризующих миграцию.

При моделировании средний радиус миграции и его среднее квадратическое отклонение рассчитывались по формулам:

$$R_M = k_r R_{II} \text{ и } \sigma_M = s_r R_M,$$

в которых k_r и s_r – коэффициенты пропорциональности, варьируемые при моделировании в следующих диапазонах:

- k_r – от 0,1 до 0,5;
- s_r – от 0,1 до 0,3.

В результате моделирования определялось среднее количество n контактов, возникающих между электропроводящими волокнами в сечениях пряжи, находящихся на расстоянии 1 см друг от друга.

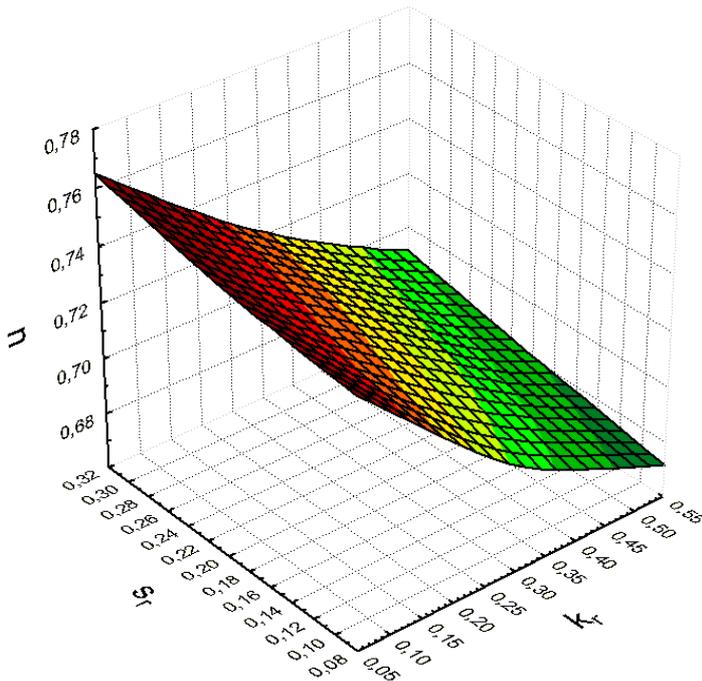


Рисунок 2 – Влияние коэффициентов k_r и s_r на среднее количество контактов n между электропроводящими волокнами

Анализируя результаты моделирования, полученные для участка пряжи длиной 50 м и представленные на рисунке 2, можно отметить, что интенсивность миграции, характеризующаяся коэффициентом k_r , оказывает достаточно существенное влияние на количество контактов между электропроводящими волокнами, что свидетельствует о необходимости экспериментальных исследований данного процесса на следующих этапах работы. При этом модель пряжи имеет малую чувствительность к неравномерности миграции, характеризующейся коэффициентом s_r .

На рисунке 3 представлено влияние процентного содержания электропроводящих волокон на среднее количество контактов между ними при коэффициентах пропорциональности $k_r=0,5$ и $s_r=0,3$.

Можно отметить, что количество контактов между электропроводящими волокнами повышается с увеличением линейной плотности пряжи и увеличением процентного содержания электропроводящих волокон в пряже.

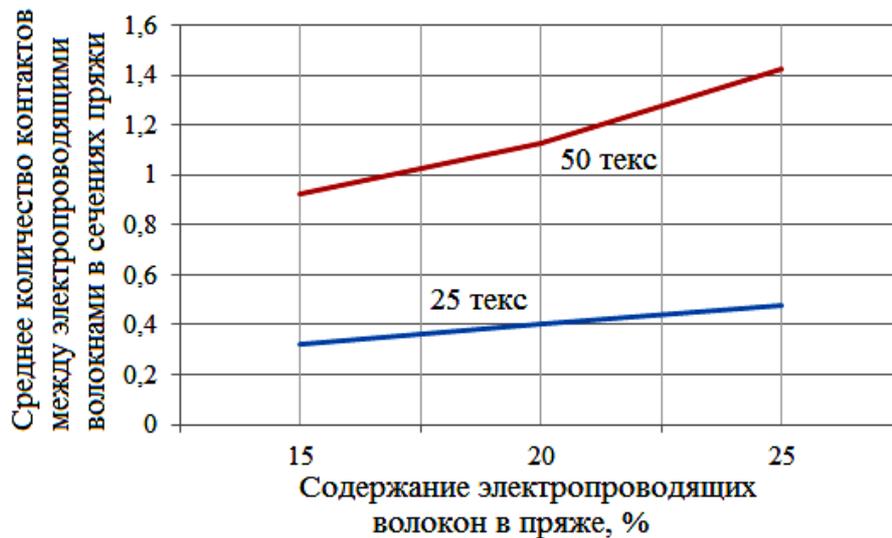


Рисунок 3 – Влияние процентного содержания электропроводящих волокон на среднее количество контактов между ними

Таким образом, разработанная модель является основой для проведения комплексных исследований по оценке влияния структуры и состава пряжи с вложением электропроводящих волокон на свойства пряжи.

Однако необходимо отметить, что чаще всего с вложением электропроводящих волокон производится не одиночная, а крученая пряжа, выработанная в несколько сложений. В связи с этим на следующем этапе будет разработана более сложная модель крученой пряжи. Можно предположить, что количество контактов между электропроводящими волокнами в крученой пряже должно быть больше, чем в одиночной пряже, в связи с тем, что количество контактирующих электропроводящих волокон увеличится в зоне соприкосновения двух скручиваемых стренг, так как эти волокна преобладают в наружном слое одиночной пряжи.

Выводы.

1. Разработана имитационная модель, позволяющая осуществлять оценку влияния параметров пряжи с вложением электропроводящих волокон на количество контактов, возникающих между ними.

2. Установлено, что количество контактов между электропроводящими волокнами повышается с увеличением их процентного содержания в пряже, линейной плотности пряжи, а также при уменьшении миграции волокон в ее сечениях.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Tao X. Wearable Electronics and photonics. Hong Kong: The Hong Kong Polytechnic University, 2005. 205 p.

2. Mattila, H.R. Intelligent textiles and clothing. Cambridge: Woodhead Publishing Limited and CRC Press LLC, 2006. 506 p.

3. Baurley, S. Interactive and experiential design in smart textile products and applications // Personal and Ubiquitous Computing, 2004. № 8(3). P. 274-281.

4. Ryklin, D., Medvetski S. Investigation of the technology of conductive yarns manufacturing // 17th World Textile Conference Autex 2017 "Materials Science and Engineering" Corfu: IOP Publishing IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering. Режим доступа: <http://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/254/7/072021/pdf>.

УДК 66.011

МОДЕЛИРОВАНИЕ 3-D СТРУКТУР ТУРБУЛЕНТНЫХ ТЕЧЕНИЙ В ВИХРЕВЫХ АППАРАТАХ MODELING 3-D STRUCTURES OF TURBULENT FLOWS IN VORTEX CHAMBERS

**Александр Сергеевич Белоусов*, Виктор Викторович Голованов*,
Юлия Александровна Геллер**
Alexander S. Belousov*, Victor V. Golovanov*,
Julia A. Heller****

**Российский государственный университет им. А.Н. Косыгина
(Технологии. Дизайн. Искусство), Россия, Москва*

**Kosygin Russian State University (Technology. Design. Art), Russia, Moscow,*

***Национальный исследовательский университет "МЭИ", Россия, Москва*

***National research University "MEI", Russia, Moscow*

(e-mail: as.belousov-2@yandex.ru)

Аннотация: Исследовались поля скоростей и структура течений в вихревом аппарате со встречными закрученными потоками. Получены уравнения инженерной модели расчета эффективности. Установлено хорошее соответствие с экспериментом.

Abstract: The velocity field and the flows structure in vortex chamber with counter-swirling flows were studied. The equations of engineering model of calculation of efficiency are received. Good agreement with the experiment was established.

Ключевые слова: вихревой аппарат, закрученные потоки, турбулентные течения.

Keywords: vortex chamber, swirling flows, turbulent flows.