

УДК 677.072

## ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СТРУКТУРЫ КРУЧЕНОЙ ПРЯЖИ С ВЛОЖЕНИЕМ ЭЛЕКТРОПРОВОДЯЩИХ ВОЛОКОН

Д.Б. Рыклин, В.В. Давидюк

Витебский государственный технологический университет, Республика Беларусь

*Статья посвящена моделированию структуры пряжи с вложением электропроводящих волокон. При моделировании учитывалась миграция волокон в сечениях пряжи. Определено влияние линейной плотности и структуры пряжи с вложением электропроводящих волокон на среднее количество контактов, возникающих между ними в моделируемых сечениях. Моделирование позволило оценить степень влияния процесса кручения на увеличение количества контактирующих электропроводящих волокон, определяющего стабильность электрических свойств смешанной пряжи.*

На большинстве прядильных предприятий Республики Беларусь осуществлено широко-масштабное техническое перевооружение с установкой новейшего технологического оборудования, производимого мировыми лидерами текстильного машиностроения. 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.

Современный ассортимент волокон со специальными свойствами довольно широк. Он включает высокопрочные, огнестойкие, электропроводящие волокна, а также волокна с антибактериальными, терморегулирующими и другими свойствами.

Электропроводящие волокна используются в составе тканей специального назначения для решения одной из двух задач: создание антистатического эффекта и экранирование электромагнитного излучения.

Наиболее известным и распространенным волокном, используемым для создания антистатических тканей, является волокно Bekinox, производимое компанией "Bekaert" (Бельгия). Данное волокно представляет собой отрезки проволоки из нержавеющей стали. Волокно поставляется, как правило, в виде ленты в чистом виде (Bekaert Bekinox VS) или в ленте (Bekaert Bekinox LT), в которой волокно Bekinox смешано с полиамидным волокном [1, 2].

Целью разработки имитационной модели структуры крученой 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.

Разработанная имитационная модель крученой пряжи основывалась на модели идеального волокнистого продукта, согласно которой продукт рассматривается как поток волокон, плотность передних концов волокон которого на участке определенной длины подчиняется закону Пуассона [3]. 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  $\lambda$  — 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

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

где  $T_{II}$  — линейная плотность пряжи, текс;  $T_{bk}$  — средняя линейная плотность волокон  $k$ -того компонента, текс;  $\Delta$  — дискретность модели, т. е. расстояние между двумя последовательно моделируемыми сечениями, мм;  $l_k$  — средняя длина

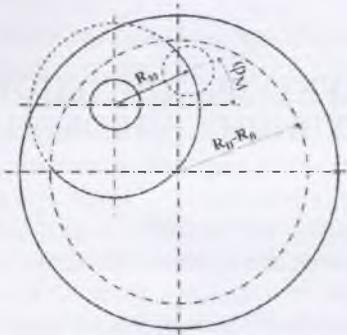


Рис. 1. Схема миграции волокон в сечении пряжи

волокна  $k$ -того компонента, мм;  $\beta_k$  – доля  $k$ -того компонента в пряже.

В процессе моделирования в каждое сечение пряжи, кроме первого, попадают участки волокон, мигрировавшие относительно своего первоначального положения. Предполагается, что в каждом следующем сечении пряжи участок волокна смещается на величину, которую можно назвать радиусом миграции  $R_M$  в определенном направлении, задаваемом углом  $\varphi_M$  относительно некоторого нулевого направления (рис. 1).

Для описания процесса миграции радиус  $R_M$  и угол  $\varphi_M$  вводятся в модель как случайные величины, распределенные соответственно по нормальному и равномерному законам с определенными характеристиками.

Первоначальное положение волокна, т. е. положение его участка в первом сечении, где оно появляется, определяется на периферии пряжи с учетом предположения о том, что все задние концы волокон в процессе кручения выходят на поверхность пряжи в виде ворсинок [4]. Таким образом, моделирование пряжи происходит в направлении сматывания пряжи с прядильного початка в процессе перематывания.

Анализ рынка текстильных материалов с вложением электропроводящих волокон показывает, что, как правило, для изготовления тканей с антистатическими свойствами используется крученая пряжа. Это связано с тем, что одноточеч-

ная пряжа с прядильных машин имеет неустойчивую структуру и неоднородна по физическим свойствам. При скручивании пряжи в несколько сложений повышается ее равновесность, разрывная нагрузка и другие свойства [5]. Также, основываясь на специфике объекта исследований, была выдвинута гипотеза о том, что с учетом выступающих на поверхность пряжи электропроводящих волокон в процессе кручения двух стренг количество контактов между такими волокнами увеличивается, что ведет к повышению стабильности электрических свойств.

Моделирование крученой пряжи основывалось на следующем допущении: при деформировании сечений одиночных стренг в структуре крученой пряжи все контакты между электропроводящими волокнами сохраняются, при этом волокна, находящиеся на поверхности стренг в зоне их соприкосновения, образуют новые контакты (рис. 2).

Разработанный алгоритм реализован в системе компьютерной алгебры Maple.

Рассмотрим результаты моделирования структуры крученой пряжи структуры 20 тексх2 с вложением 80 % хлопкового волокна и 20 % электропроводящих волокон. В качестве электропроводящих волокон рассматриваются волокна Векinox линейной плотности 0.9 текс. Диаметр этих волокон составляет 12 мкм, а номинальная длина – 47 мм.

На рис. 3 представлены последовательно 6 первых сечений скручиваемых стренг пряжи, на которых обозначены электропроводящие волокна, а римские цифры соответствуют номерам сечений пряжи, в которых эти волокна появлялись. Положение волокон хлопка в разработанной модели не определяется. Их параметры учитываются только при расчете диаметра пряжи. Расстояние между моделированными сечениями составляет 10 мм.

По графику, представленному на рис. 3, видно, что увеличение количества электропроводящих волокон пряжи (аналогично увеличению

количества волокон других компонентов) происходит от сечения 1 до сечения 3. Начиная с сечения 4, количество волокон колеблется относительно среднего значения.

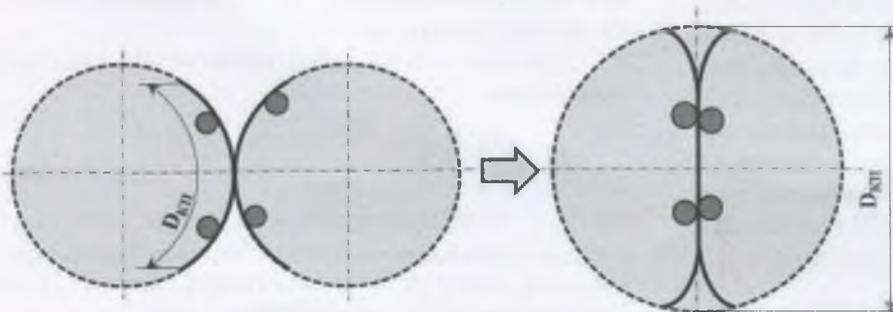


Рис. 2. Увеличение количества контактов между электропроводящими волокнами в крученой пряже.

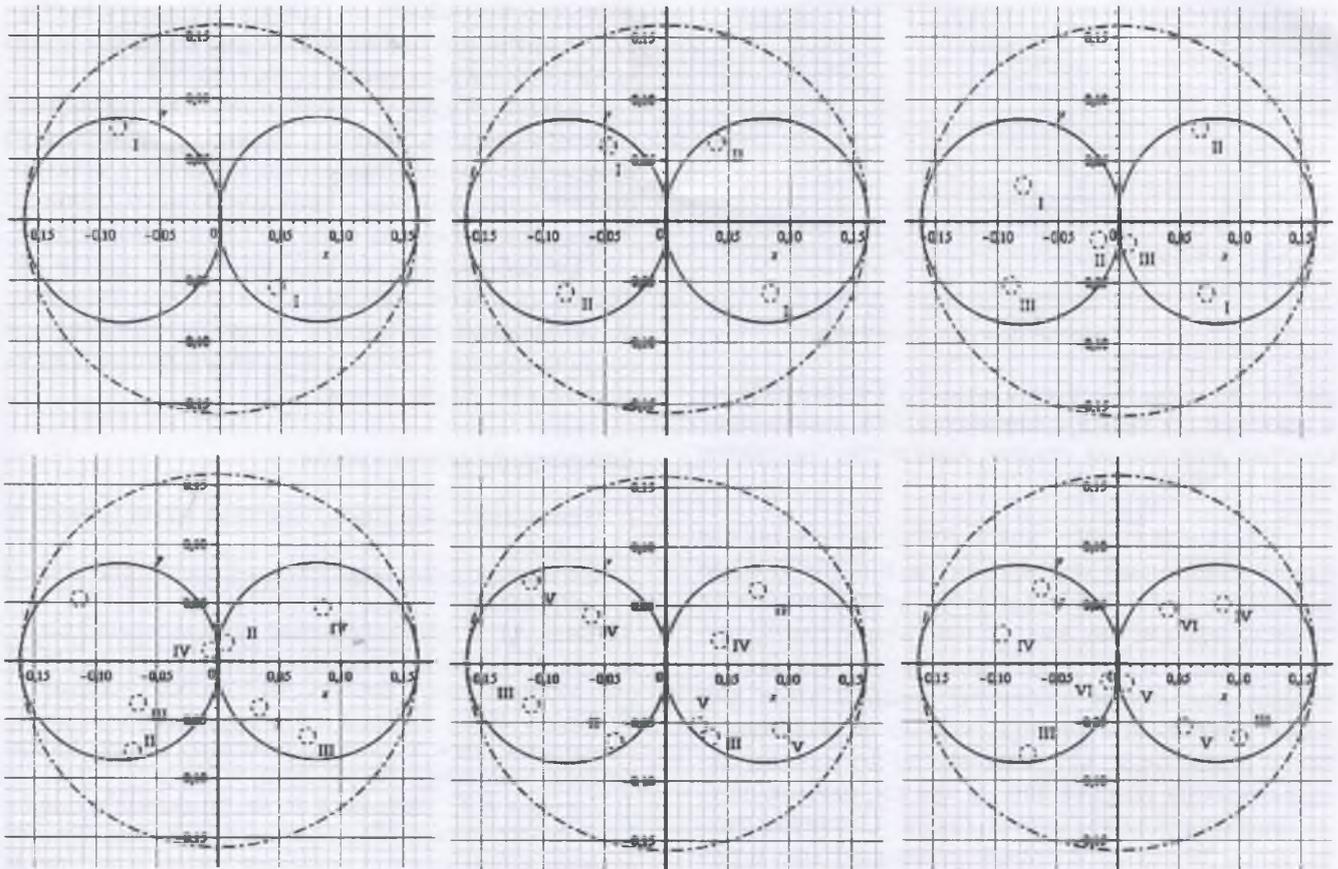


Рис. 3. Результаты моделирования сечений стренг крученой пряжи с вложением электропроводящих волокон

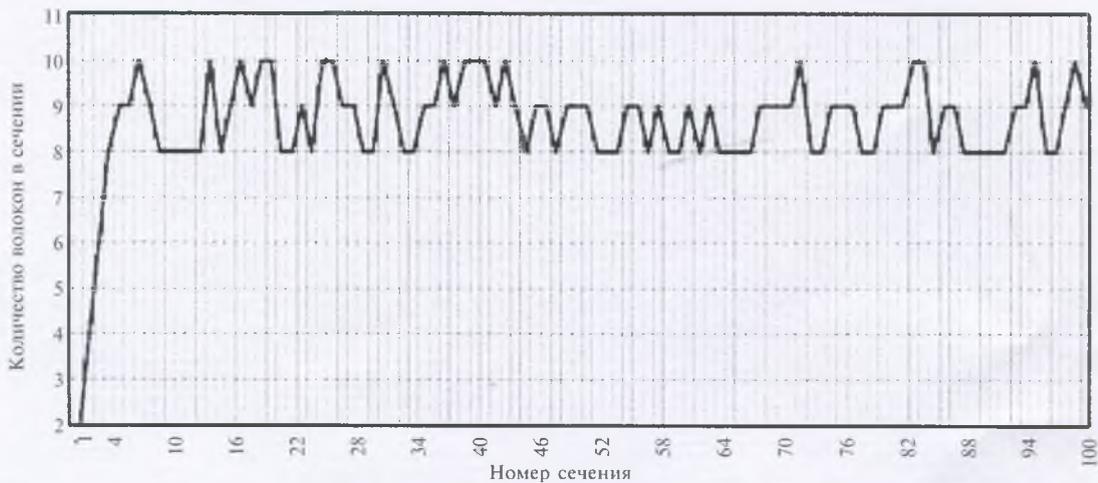


Рис. 4. Изменение количества электропроводящих волокон в сечениях моделируемой пряжи структуры 20 текс × 2

В результате моделирования определено влияние линейной плотности одиночной пряжи и структуры крученой пряжи с вложением 80% хлопкового волокна и 20% электропроводящих волокон на среднее количество контактов между электропроводящими волокнами (рис. 4).

Анализируя полученную зависимость, можно отметить, что количество контактов между электропроводящими волокнами повышается с увеличением линейной плотности пряжи. При этом количество контактов в крученой пряже на 5 – 10% больше, чем в одиночной пряже той же линейной плотности.

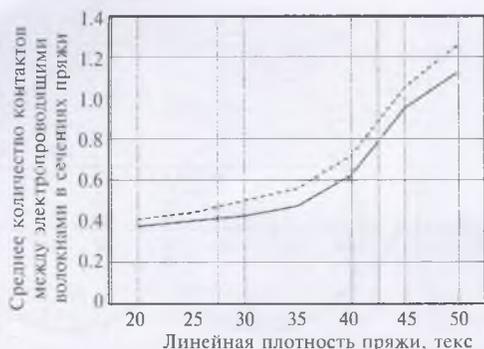


Рис. 5. Влияние линейной плотности  $T$  одиночной (1) и крученой (2) пряжи с вложением 20% электропроводящих волокон на среднее количество контактов между ними  $m$ .

Такой показатель, как количество контактов между стальными волокнами не в полной мере характеризует стабильность электрических свойств пряжи, так как не учитывает длину волокна и зависит от расстояния между моделируемыми сечениями пряжи. В связи с этим для более корректной оценки можно использовать такой показатель, как количество контактов создаваемых на участке длины пряжи, равной длине электропроводящего волокна. С учетом номинальной длины волокна, равной 47 мм, в результате моделирования определено, что в одиночной пряже линейной плотности 40 текс ко-

личество контактов на данной длине составляет 2/9, в крученой пряже структуры 20 текс  $\times$  2 значение показателя увеличилось до 3/4.

Таким образом, моделирование позволило оценить степень влияния процесса кручения на изменение количества контактирующих электропроводящих волокон, определяющего стабильность электрических свойств смешанной пряжи.

Разработанная модель крученой пряжи является основой для проведения комплексных исследований по оценке влияния структуры и состава пряжи с вложением электропроводящих волокон на ее свойства.

#### Библиографический список

1. Материалы сайта <https://vostok.ru> (Дата доступа – 03.01.2020).
2. Материалы сайта <https://bekaert.com> (Дата доступа – 03.01.2020).
3. Рыклин Д. Б. Моделирование технологических процессов переработки неоднородных волокнистых смесей. Монография. / Витебск: ВГТУ, 2006. – 170 с.
4. Рыклин Д. Б., Коган А.Г. Производство многокомпонентных пряж и комбинированных нитей. Монография. – Витебск: ВГТУ, 2002. – 215 с.
5. Борзунов И.Г., Бадалов К.И. др. Прядение хлопка и химических волокон (изготовление ровницы, суровой и меланжевой пряжи, крученых нитей и ниточных изделий). // Изд. 2-е, перераб. и доп. – М.: Легпромбытиздат, 1986. – 392 с