

УДК 677.017.3

**МОДЕЛИРОВАНИЕ СТРУКТУРЫ ТЕКСТИЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ  
ДЛЯ ФОРМИРОВАНИЯ СЛОИСТЫХ КОМПОЗИТОВ**

**MODELING OF TEXTILE MATERIALS STRUCTURE  
FOR FORMING LAYERED COMPOSITES**

*Н.Н. ЯСИНСКАЯ, А.Н. БИЗЮК, К.Э. РАЗУМЕЕВ*  
*N.N. YASINSKAYA, A.N. BIZIUK, K.E. RAZUMEEV*

(Витебский государственный технологический университет, Республика Беларусь,  
Российский государственный университет имени А.Н. Косыгина (Технологии. Дизайн. Искусство))  
(Vitebsk State Technological University, Belarus,  
Russian State University named after A.N. Kosygin (Technologies. Design. Art))  
E-mail: vstu@vstu.vitebsk.by

*В работе предложены уравнения, позволяющие создавать имитационные модели пористой структуры текстильных материалов со случайным расположением волокон; разработано программное обеспечение для прогнозирования пористой структуры текстильного материала с целью пропитки в процессе производства слоистых текстильных композиционных материалов.*

*Mathematical models are proposed, which allow creating simulation models of porous structure of textile materials with random arrangement of fibers; a software was developed to predict the porous structure of a textile material for impregnation in the process of manufacturing layered textile composite materials.*

**Ключевые слова:** слоистые композиционные текстильные материалы, пряжа, ткань, пористость, пропитка, моделирование, имитационная модель.

**Keywords:** layered composite textile materials, yarn, fabric, porosity, impregnation, modeling, simulation model.

Одним из направлений создания композиционных материалов с заданными свойствами является получение сложных слоистых структур, в том числе с использованием текстильных материалов – волокон, нитей, тканей, трикотажных полотен, нетканых материалов – слоистых композиционных текстильных материалов.

Целью создания слоистых композиционных текстильных материалов является соединение в одну структуру схожих или различных компонентов для получения материала с новыми заданными свойствами, отличными от свойств исходных компонентов.

Важной операцией при формировании слоистых композиционных текстильных мате-

риалов является пропитка текстильного материала полимерным связующим. От полноты протекания процесса пропитки зависят физико-механические, потребительские и эксплуатационные свойства готового материала.

Пропитка коллоидных капиллярно-пористых материалов, к которым относятся текстильные материалы, жидкостями – сложный процесс, зависящий от физико-химических свойств полимерного связующего и капиллярной структуры волокнистого материала, определяемой размерами и конфигурацией пор, их пространственным расположением [1].

Для регулирования капиллярных свойств, создания текстильного материала с заданной пористостью, а также анализа процесса его пропитки полимерным связующим необходима модель пористой структуры пряжи, ткани [2...4].

Целью работы является разработка имитационной модели пористой структуры текстильного материала для возможности регулирования капиллярных свойств и создания структуры с заданной пористостью. В качестве объекта исследований выбрана ткань из хлопчатобумажной пряжи.

В процессе моделирования пористой структуры текстильных материалов нужно учитывать как строение моделируемого материала, так и случайное изменение свойств материала по длине и площади, то есть неровноту. Современные компьютерные технологии позволяют использовать ряд эффективных инструментов для моделирования пористой структуры текстильных материалов с учетом неровноты их свойств [5].

Волокнистый материал в модели (рис. 1 – схема модели волокна) состоит из заданного количества волокон со случайными характеристиками. Каждое волокно описывается набором из конечного числа точек в пространстве. Расположение точек каждого волокна в пространстве задается параметрическим уравнением спирали:

$$\begin{cases} y = bt, \\ x = a\sin(t), \\ z = a\cos(t), \end{cases} \quad (1)$$

где  $x, y, z$  – координаты в пространстве;  $a$  – радиус спирали;  $b/a$  – угловой коэффициент спирали;  $t$  – параметр дискретизации.

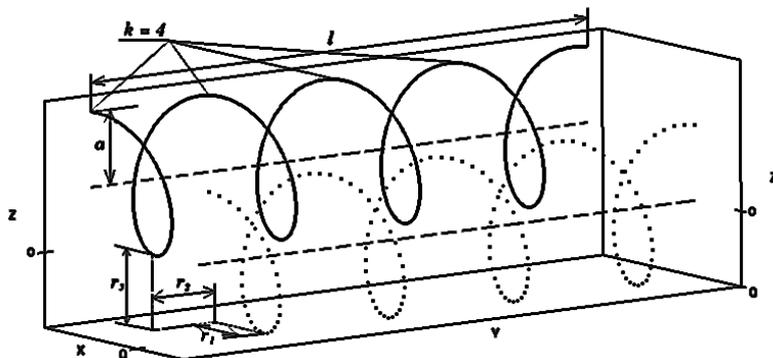


Рис. 1

Для того чтобы расстояние между точками не зависело от параметров спирали (диаметр, количество витков, длина), использована формула длины дуги спирали:

$$L = \ell/b \sqrt{a^2 + b^2}, \quad (2)$$

где  $L$  – длина дуги спирали;  $\ell$  – длина проекции спирали на ось  $y$ .

Для моделирования спирали нужно задать длину проекции  $\ell$  на ось  $y$ , количество витков спирали  $k$ , радиус спирали  $a$  и шаг дискретизации  $d$ . Тогда  $b$  найдем по формуле:

$$b = \ell/(2\pi k). \quad (3)$$

Учитывая (2), спираль радиусом  $a$  с количеством витков  $k$ , длиной вдоль оси  $y$ ,

равной  $\ell$ , и шагом дискретизации  $d$  опишем уравнениями:

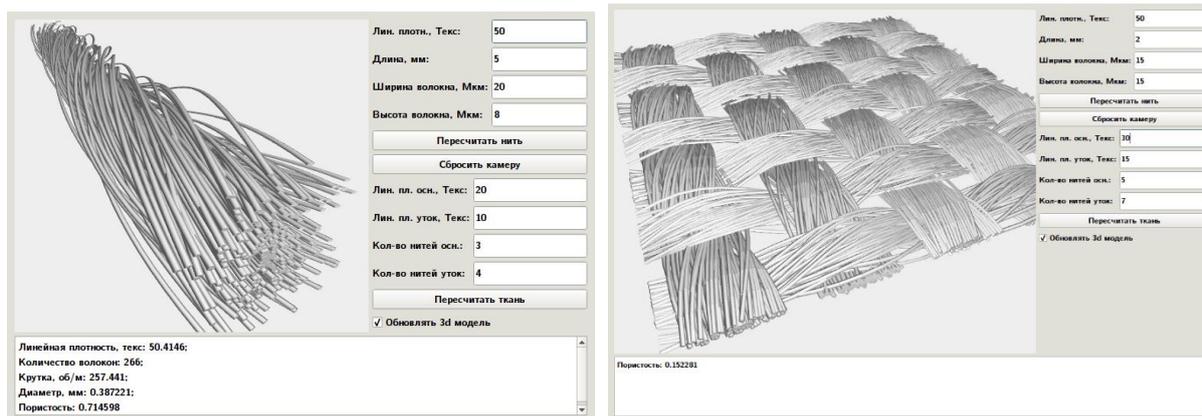
$$\begin{cases} t = \frac{t_2}{\sqrt{a^2+b^2}}, \\ y = bt \\ x = a\sin(t), \\ z = a\cos(t). \end{cases} \text{ при } t_2 \in [0, L] \text{ с шагом } d, \quad (4)$$

$$\begin{cases} t = \frac{t_2}{\sqrt{a^2+b^2}}, \\ y = bt, \\ x = a\sin\left(t + \frac{r_2}{b}\right) + r_1, \\ z = a\cos\left(t + \frac{r_2}{b}\right) + r_3. \end{cases} \text{ при } t_2 \in [0, L] \text{ с шагом } d, \quad (5)$$

Задавая различные диапазоны и законы распределения для используемых случайных величин, можно добиться различных характеристик сгенерированного волокнистого материала, получать имитационные модели пря-

Для моделирования отрезка волокнистого материала нужно сгенерировать несколько волокон со случайными параметрами: радиус спирали  $a$ , количество витков  $k$ , смещение витков вдоль оси  $y$ , равное  $r_2$ , смещение волокна вдоль оси  $x$ , равное  $r_1$ , смещение волокна вдоль оси  $z$ , равное  $r_3$ . Тогда уравнения (4) примут вид:

жи с заданными характеристиками (линейная плотность, диаметр, пористость) (рис. 2 – интерфейс приложения для имитационного моделирования пряжи (а) и ткани (б)).



а)

б)

Рис. 2

Для моделирования ткани необходимо задать количество нитей по основе и утку в моделируемом отрезке и характеристики нитей основы и утка. Нужно учитывать, что нити в ткани располагаются не прямолинейно. Для моделирования простейшего полотняного переплетения можно использовать предположение, что нити изгибаются в виде синусоид, характеристики которых зависят от количества и толщины нитей в моделируемом отрезке. Также нужно учитывать, что при переплетении поперечное сечение нитей деформируется и уже не представляет собой окружность. Было использовано пред-

положение, что поперечное сечение нитей при переплетении представляет собой эллипс, параметры которого задаются при построении модели. Исходя из этих рассуждений, была построена модель полотняного переплетения нитей, позволяющая задавать характеристики ткани.

При моделировании ткани использовали систему уравнений (5) для моделирования каждой отдельной нити, при этом в нее были внесены изменения для учета изгибов нитей и искажения их поперечного сечения.

Нити основы моделировали, используя систему уравнений:

$$\begin{cases} t = \frac{t_2}{\sqrt{a^2+b^2}}, \\ y = bt, \\ x = a \sin\left(t + \frac{r_2}{b}\right) + r_1 + \frac{\ell}{N_{\text{осн}}} j \text{ при } t_2 \in [0, L] \text{ с шагом } d, \\ z = \left(\cos\left(t + \frac{r_2}{b}\right) + r_3\right) C_{\text{осн}} + \\ + R_{\text{ут}} \sin\left(\frac{y}{\ell} N_{\text{ут}} \pi + j\pi\right), \end{cases} \quad (6)$$

где  $N_{\text{осн}}$  – количество нитей основы в моделируемом участке;  $j$  – порядковый номер моделируемой нити основы;  $C_{\text{осн}}$  – коэффициент отношения вертикального диаметра нити основы к горизонтальному диаметру (коэффициент искажения поперечного сечения);  $R_{\text{ут}}$  – вертикальный радиус нити утка;  $N_{\text{ут}}$  – количество нитей утка в моделируемом отрезке ткани;  $\frac{\ell}{N_{\text{осн}}} j$  – смещение каж-

дой последующей нити вдоль оси  $X$  на половину периода изгиба для образования плотняного переплетения;  $R_{\text{ут}} \sin\left(\frac{y}{\ell} N_{\text{ут}} \pi + j\pi\right)$  – выражение для формирования изгибов нити с заданной амплитудой и периодичностью.

Нити утка моделировали, используя систему уравнений:

$$\begin{cases} t = \frac{t_2}{\sqrt{a^2+b^2}}, \\ x = bt - \frac{\ell}{N_{\text{осн}} \cdot 2}, \\ y = a \sin\left(t + \frac{r_2}{b}\right) + r_1 + \frac{1}{N_{\text{ут}}} j + \frac{\ell}{N_{\text{ут}} \cdot 2} \text{ при } t_2 \in [0, L] \text{ с шагом } d, \\ z = \left(\cos\left(t + \frac{r_2}{b}\right) + r_3\right) C_{\text{ут}} + \\ + R_{\text{осн}} \sin\left(\frac{x}{\ell} N_{\text{осн}} \pi + (j+1)\pi\right), \end{cases} \quad (7)$$

где  $C_{\text{ут}}$  – коэффициент отношения вертикального диаметра нити утка к горизонтальному диаметру;  $R_{\text{осн}}$  – вертикальный радиус нити основы;  $j$  – порядковый номер моделируемой нити утка;  $-\frac{\ell}{N_{\text{осн}} \cdot 2}$  – смещение нитей утка вдоль оси  $x$  на четверть периода изгиба для совмещения изгибов нитей основы и утка;  $\frac{\ell}{N_{\text{ут}} \cdot 2}$  – смещение нитей утка вдоль оси  $y$  на четверть периода изгиба для совмещения изгибов нитей основы и утка.

Для имитационного моделирования пористой структуры текстильных материалов разработано программное обеспечение на языке C++ [6] (рис. 2).

## ВЫВОДЫ

Получены уравнения, позволяющие создавать имитационные модели пористой струк-

туры текстильных материалов со случайным расположением волокон для регулирования капиллярных свойств, проектирования текстильного материала с заданной пористостью, а также анализа процесса его пропитки полимерным связующим в процессе формирования слоистых текстильных композиционных материалов.

## ЛИТЕРАТУРА

1. *Воюцкий С.С.* Физико-химические основы пропитывания и импрегнирования волокнистых систем водными дисперсиями полимеров. – Л.: Химия, 1969.
2. *Бизюк А.Н., Жерносек С.В., Ясинская Н.Н., Ольшанский В.И.* Оптимизация технологического процесса формирования текстильных композиционных материалов в условиях воздействия электромагнитных волн СВЧ- и ИК-диапазона // Химическая технология. – 2015. Т. 16, № 1. С. 6...12.
3. *Бизюк А.Н., Жерносек С.В., Ольшанский В.И., Ясинская Н.Н.* Моделирование процесса пропитки

текстильных материалов под действием СВЧ-излучения // Изв. вузов. Технология легкой промышленности. – 2014. Т. 23, № 1. С. 16...18.

4. Бизюк А.Н., Жерносек С.В., Ясинская Н.Н., Ольшанский В.И. Исследование пропитки текстильных материалов в поле СВЧ-излучения // Вестник Витебского гос. технолог. ун-та. – 2014, № 1 (26). С.21...28.

5. Ломов С.В. Прогнозирование строения и механических свойств тканей технического назначения методами математического моделирования: Дис....докт. техн. наук. – СПб: СПбГУТД, 1995.

6. Бизюк А.Н., Ясинская Н.Н. Численное моделирование пропитки многослойных текстильных материалов // Мат. докл. 48 Междунар. научн.-техн. конф. преподавателей и студентов, посвященной 50-летию университета. – В 2-х т. – Витебский гос. технолог. ун-т, 2015. С. 23...25.

#### REFERENCES

1. Voyutskiy S.S. Fiziko-khimicheskie osnovy propityvaniya i impregnirovaniya voloknistykh sistem vodnymi dispersiyami polimerov. – L.: Khimiya, 1969.

2. Bizyuk A.N., Zhernosek S.V., Yasinskaya N.N., Ol'shanskiy V.I. Optimizatsiya tekhnologicheskogo protsessa formirovaniya tekstil'nykh kompozitsionnykh ma-

terialov v usloviyakh vozdeystviya elektromagnitnykh voln SVCh- i IK-diapazona // Khimicheskaya tekhnologiya. – 2015. Т. 16, № 1. С. 6...12.

3. Bizyuk A.N., Zhernosek S.V., Ol'shanskiy V.I., Yasinskaya N.N. Modelirovanie protsessa propitki tekstil'nykh materialov pod deystviem SVCh-izlucheniya // Izv. vuzov. Tekhnologiya legkoy promyshlennosti. – 2014. Т. 23, № 1. С. 16...18.

4. Bizyuk A.N., Zhernosek S.V., Yasinskaya N.N., Ol'shanskiy V.I. Issledovanie propitki tekstil'nykh materialov v pole SVCh-izlucheniya // Vestnik Vitebskogo gos. tekhnolog. un-ta. – 2014, № 1 (26). С.21...28.

5. Lomov S.V. Prognozirovanie stroeniya i mekhanicheskikh svoystv tkaney tekhnicheskogo naznacheniya metodami matematicheskogo modelirovaniya: Dis.... dokt. tekhn. nauk. – SPb: SPbGUTD, 1995.

6. Bizyuk A.N., Yasinskaya N.N. Chislennoe modelirovanie propitki mnogosloynnykh tekstil'nykh materialov // Мат. докл. 48 Mezhdunar. nauchn.-tekhn. konf. prepodavateley i studentov, posvyashchennoy 50-letiyu universiteta. – V 2-kh t. – Vitebskiy gos. tekhnolog. un-t, 2015. С. 23...25.

Рекомендована кафедрой экологии и химических технологий ВГТУ. Поступила 16.11.17.