

УДК 677.017.35:539.217.1

## ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕКСТИЛЬНЫХ ПЕРЕПЛЕТЕНИЙ

*Бизюк А.Н., ст. преп., Ясинская Н.Н., д.т.н., доц.*

*Витебский государственный технологический университет,  
г. Витебск, Республика Беларусь*

Реферат. В работе предлагается метод имитационного моделирования переплетений текстильных материалов по заданной матрице переплетения.

Ключевые слова: текстильные материалы, ткани, переплетения, моделирование.

Полимерные композиционные материалы являются основой создания самых разнообразных изделий бытового и технического назначения. Важное значение среди современных полимерных композиционных материалов имеют армированные – волокнистые полимерные композиты, применение которых дает существенные преимущества по технологичности, снижению материалоемкости и стоимости изделий, улучшению их эксплуатационных характеристик [1].

Волокнистые полимерные композиты состоят из армирующего волокнистого наполнителя и полимерной матрицы. Одна из основных задач введения в полимерный материал армирующего волокнистого наполнителя – повышение механических или других функциональных свойств.

Задача моделирования структуры текстильных материалов активно исследуется и существует несколько методов ее решения [2-6]. Часто применяется моделирование на основе метода конечных элементов. При использовании метода конечных элементов обычно моделирование идет на уровне нитей, а не на уровне отдельных волокон. При необходимости использования модели в моделировании пропитки, требуется учитывать взаимное расположение волокон внутри нитей. В данной работе авторами предлагается метод получения модели текстильного материала на основе имитационного моделирования взаимодействия отдельных волокон.

При моделировании тканевых переплетений требуется описать с помощью формул траекторию каждой нити [7].

Одним из способов аппроксимации траектории нити в ткацком переплетении является использование прямоугольных функций. Прямоугольная функция, это функция, описываемая следующим выражением:

$$\Pi(t) = \begin{cases} 0, & \text{if } |t| > \frac{1}{2} \\ \frac{1}{2}, & \text{if } |t| = \frac{1}{2} \\ 1, & \text{if } |t| < \frac{1}{2} \end{cases} \quad (1)$$

Прямоугольную функцию можно представить как предел рациональной функции:

$$\Pi(t) = \lim_{n \rightarrow \infty, n \in \mathbb{Z}} \frac{1}{(2 \cdot t)^{2n} + 1} \quad (2)$$

Для аппроксимации траектории нити в переплетении можно задать в (2) некоторое небольшое  $n$ .

Если использовать линейную комбинацию аппроксимаций прямоугольной функции, то можно получить необходимую траекторию нити в переплетении.

Следующий этап моделирования нити – это описание траекторий отдельных волокон. Траектория каждого отдельного волокна в крученной нити может быть аппроксимирована винтовой линией. Винтовая линия с прямолинейной осью, направленной вдоль оси  $x$  может быть описана следующим параметрическим уравнением:

$$\begin{cases} x = t \\ y = \cos(t) \\ z = \sin(t) \end{cases} \quad (3)$$

Требуется построить винтовую линию с осью, проходящей по траектории, описываемой функцией (2) или линейной комбинацией таких функций. Чтобы это осуществить, требуется задать функцию, вычисляющую вектор-нормаль к траектории в заданной точке и функцию, вычисляющую длину траектории от начальной точки до заданной. Функция, задающая вектор-нормаль выглядит так:

$$n(t) = \begin{bmatrix} n(t)_x \\ n(t)_y \\ n(t)_z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\frac{f'(t)}{\sqrt{(f'(t))^2 + 1}} \\ 0 \\ \frac{1}{\sqrt{(f'(t))^2 + 1}} \end{bmatrix}, \quad (4)$$

где  $f(t)$  – это функция траектории нити.

Функция, вычисляющая длину траектории выглядит так:

$$l(t) = \int_0^t \sqrt{(f'(t))^2 + 1} \quad (5)$$

Теперь можно, используя (2), (3), (4) и (5) записать функцию, описывающую траекторию отдельного волокна в нити, описываемой ее траекторией в переплетении:

$$fib(t) = \begin{bmatrix} t + \sin(l(t)) \cdot n(t)_x \\ \cos(l(t)) \\ f(t) + \sin(l(t)) \cdot n(t)_z \end{bmatrix} \quad (6)$$

Для того, чтобы можно было регулировать шаг витков винтовой линии и ее радиус, в формулу (6) можно ввести дополнительные коэффициенты:

$$fib2(t, s, d) = \begin{bmatrix} t + s \cdot \sin(l(t) \cdot d) \cdot n(t)_x \\ s \cdot \cos(l(t) \cdot d) \\ f(t) + s \cdot \sin(l(t) \cdot d) \cdot n(t)_z \end{bmatrix}, \quad (7)$$

где  $d$  – это коэффициент, регулирующий число витков винтовой линии на единицу длины нити;  $s$  – коэффициент, задающий радиус винтовой линии.

Каждое волокно в нити имеет свои свойства и совокупность этих волокон образует нить. Ось волокна не обязательно должна совпадать с осью нити, поэтому в формулу (7) можно ввести параметры смещения винтовой линии вдоль каждой из осей координат:

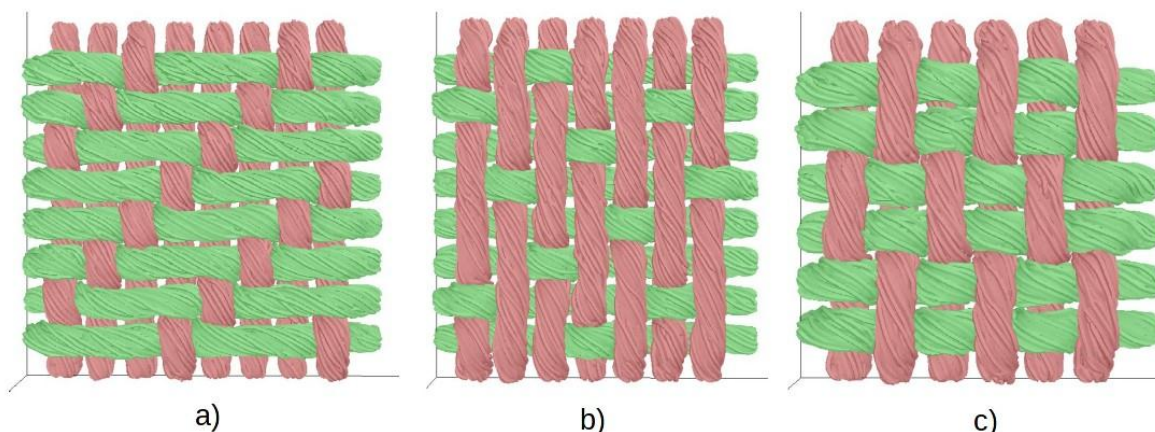
$$fib2(t, s, d, r) = \begin{bmatrix} t + s \cdot \sin(l(t) \cdot d + r_x) \cdot n(t)_x \\ s \cdot \cos(l(t) \cdot d + r_x) + r_y \\ f(t) + s \cdot \sin(l(t) \cdot d + r_x) \cdot n(t)_z + r_z \end{bmatrix} \quad (8)$$

где  $r$  – вектор смещений;  $r_x$  – смещение по оси  $x$ ;  $r_y$  – смещение по оси  $y$ ;  $r_z$  – смещение по оси  $z$ .

Для того, чтобы смоделировать отдельную нить, нужно смоделировать каждое волокно этой нити с использованием формулы (8).

При имитационном моделировании участка ткани, каждое волокно каждой нити представляется как конечное множество точек пространства, координаты которых определяются формулой (8).

Для моделирования участка ткани с заданным раппортом было разработано программное обеспечение на языке функционального программирования Haskell.



На рисунке 1 изображены модели различных неплотных переплетений, полученные с использованием разработанного программного обеспечения.

Рисунок 1 – 3D-модели текстильных переплетений: а) саржевое; б) сатиновое; в) репсовое

#### Список использованных источников

1. Перепелкин, К. Е. Армирующие волокна и волокнистые полимерные композиты. Монография. / К. Е. Перепелкин. – Научные основы и технологии, 2009.
2. Lomov, S. V., G. Huysmans, Verpoest I. Hierarchy of textile structures and architecture of fabric geometric models / S. V. Lomov, , G. Huysmans, Verpoest I. // Textile Research Journal. – 2001. – Т. 6(71). – С. 534–543.
3. X. Chen, Modelling and predicting textile behaviour. – Cambridge:Woodhead Publishing, 2010.
4. Бенецкая, В. В., Селиверстов, В. Ю., Киселев, А. М. Моделирование структуры тканей // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. – 2013. – Т. 3(345). – С. 23–28.
5. Севостьянов, П. А., Забродин, Д. А., Дасюк, П. Е. Компьютерное моделирование в задачах исследования текстильных материалов и производств. – Москва: «Тисо Принт», 2014.
6. Шустов, Ю. С. Основы текстильного материаловедения. – Москва: МГТУ им. А.Н. Косыгина, 2017.
7. Ясинская, Н. Н., Бизюк, А. Н., Разумеев, К. Э. Моделирование структуры текстильных материалов для формирования слоистых композитов // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. – 2018. – Т. 6(378). – С. 273–277.

УДК 681.5:621.311

## **АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ВЕТРОГЕНЕРАТОРОМ**

**Шеленговский В.О., студ., Соколова А.С., ст. преп., Черненко Д.В., ст. преп.**

*Витебский государственный технологический университет,  
г. Витебск, Республика Беларусь*

*Реферат. В настоящее время актуальной является задача развития альтернативной энергетики. Одно из ее направлений – использование энергии ветра. В работе предложена автоматизированная система управления необходимым для этих целей оборудованием.*

Ключевые слова: автоматизированная система управления, ветрогенератор, ПЛК, CoDeSys.