

**ТРЕХМЕРНАЯ МОДЕЛЬ ФОРМЫ НИТИ  
В ОДНОСЛОЙНОЙ ТКАНИ ПОЛОТНЯНОГО ПЕРЕПЛЕТЕНИЯ\***

**THREE-DIMENSIONAL MODEL OF A THREAD FORM  
IN A SINGLE-LAYER FABRIC OF A PLAIN WEAVE**

*А.П. ГРЕЧУХИН, В.Ю. СЕЛИВЕРСТОВ*  
*A.P. GRECHUHIN, V.YU. SELIVERSTOV*

(Костромской государственный технологический университет)  
(Kostroma State Technological University)  
E-mail: grechuhin1983@yandex.ru

*В работе представлен метод построения 3-D модели нити в элементе ткани на основе полученных ранее данных по расчету профиля нити в ткани.*

*The method of construction of 3-D thread model in a fabric element on the basis of the data received before that on account of a thread profile in a fabric is presented in the paper.*

**Ключевые слова:** кусочно-непрерывная функция, геометрическая модель нити, трехмерная модель нити в элементе ткани.

**Keywords:** piecewise-continuous function, geometric model of a thread, three-dimensional model of a thread in a fabric element.

Трехмерное моделирование структуры ткани позволяет понять ее структуру, а это особенно важно при проектировании тканей сложного строения (многослойных тканей, тканей с переменной плотностью расположения нитей). С помощью математических моделей, описывающих трехмерную структуру тканей можно рассчитывать параметры строения, которые сложно вычислить стандартными методами (объем пор ткани, площадь контакта между нитями). Трехмерному моделированию тканых структур посвящено множество работ. Отдельно можно выделить работы Ломова С. В. и ряда зарубежных авторов [1...5]. Следует отметить значительные продвижения зарубежных исследователей в трехмерном моделировании структур текстильных материалов. Достоинством 3-D моделей нитей и текстильного материала является возможность учитывать изгиб нитей в нескольких направлениях,

что позволяет более точно прогнозировать многие параметры изделия (например, в тканях с большими настилами нитей присутствует явление бокового изгиба нити, что влияет на многие структурные показатели изделия).

Недостатком многих работ является эффект "взаимопроникновения" нитей в ткани из-за аппроксимаций в геометрических моделях. Для этого авторами предложен специальный механизм устранения такого явления.

В данной работе представлен метод построения 3-D модели нити в элементе ткани на основе полученных ранее данных по расчету профиля нити в ткани в виде кусочно-непрерывной функции [6].

Функция, определяющая положение средней линии нити, рассчитывается на основе данных о возможных границах профиля нити [6]:

\* Работа выполнена по проекту № НК-632П/38(3) в рамках ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009 – 2013 годы.

$$f(x) = \begin{cases} \left( \frac{d_{yb}}{2} + \frac{d_{об}}{2} \right) \sqrt{1 - \frac{x^2}{\left( \frac{d_{yг}}{2} + \frac{d_{об}}{2} \right)^2}} + H, & 0 < x \leq \frac{x_1 + x_3}{2} \\ dx + \frac{b + b_1}{2}, & \frac{x_1 + x_3}{2} < x \leq \frac{x_2 + x_4}{2} \\ - \left( \frac{d_{yb}}{2} + \frac{d_{об}}{2} \right) \sqrt{1 - \frac{(x - \ell_y)^2}{\left( \frac{d_{yг}}{2} + \frac{d_{об}}{2} \right)^2}} + E, & \frac{x_2 + x_4}{2} < x \leq \ell_y \end{cases} \quad (1)$$

где  $d_{yb}$  – поперечник нити утка по вертикали;  $d_{yг}$  – поперечник нити утка по горизонтали;  $d_{об}$  – поперечник нити основы по вертикали;  $H$  – ордината центра первой уточной нити;  $E$  – ордината центра второй уточной нити;  $\ell_y$  – геометрическая плотность по утку;  $x_1, x_2, x_3, x_4$  – абсциссы точек касания прямых и кривых, описывающих верхние и нижние границы профилей нити;  $b, b_1$  – свободные члены в уравнении прямых, сопрягающих кривые, описывающие границы профиля нити в ткани;  $d$  – угловой коэффициент прямой, сопрягающей кривые, описывающие границы профиля нити в ткани.

Тогда, предположив, что нить принимает вид изогнутого эллиптического цилиндра (возможно использование изогнутой цилиндрической поверхности с любым основанием), получаем функцию, выражающую верхнюю объемную (в координатах "хуz") часть формы нити:

$$G_b(x, y) = f(x) + (j_b(x) - f(x)) \sqrt{1 - \frac{y^2}{r^2}}, \quad (2)$$

где  $j_b(x)$  – функция, описывающая верхнюю часть профиля нити;  $f(x)$  – функция, описывающая среднюю линию нити (с изгибом в одной плоскости);  $r$  – половина поперечника нити основы по горизонтали.

$$j_b(x) = \begin{cases} 0,412 \sqrt{1 - \frac{x^2}{(0,461)^2}}, & 0 < x \leq 0,406, \\ -1,66x + 0,869, & 0,406 < x \leq 0,497, \\ -0,137 \sqrt{1 - \frac{(x - 0,667)^2}{(0,186)^2}} + 0,1, & 0,497 < x \leq 0,667. \end{cases} \quad (6)$$

Нижнюю часть можно изобразить в виде:

$$G_n(x, y) = f(x) + (f(x) - j_n(x)) \sqrt{1 - \frac{y^2}{r^2}}, \quad (3)$$

где  $j_n(x)$  – функция, описывающая нижнюю часть профиля нити в пространстве.

Можно обойтись без расчета параметров средней линии нити, тогда верхняя и нижняя объемные части профиля нити могут быть выражены следующим образом:

$$G_b(x, y) = \frac{j_b(x) + j_n(x)}{2} + \left( \frac{j_b(x) - j_n(x)}{2} \right) \sqrt{1 - \frac{y^2}{r^2}}, \quad (4)$$

$$G_n(x, y) = \frac{j_b(x) + j_n(x)}{2} + \left( \frac{j_n(x) - j_b(x)}{2} \right) \sqrt{1 - \frac{y^2}{r^2}}. \quad (5)$$

Приведем пример расчета параметров функций для построения трехмерной модели основной нити в льняной ткани – прототипе полотняного переплетения на интервале изгиба. Параметры ткани следующие: плотность по утку – 150 нит/см; диаметры нитей основы и утка в ткани с учетом смятия – 0,274 мм по вертикали и 0,372 мм по горизонтали; высота волны изгиба нити основы – 0,448 мм.

Кусочно-непрерывная функция, описывающая верхнюю границу профиля нити в ткани:

Кусочно-непрерывная функция, описывающая нижнюю границу профиля нити в

ткани:

$$j_H(x) = \begin{cases} 0,137 \sqrt{1 - \frac{x^2}{(0,186)^2}}, & 0 < x \leq 0,17, \\ -1,66x + 0,338, & 0,17 < x \leq 0,261, \\ -0,412 \sqrt{1 - \frac{(x - 0,667)^2}{(0,461)^2}} + 0,1, & 0,261 < x \leq 0,667. \end{cases} \quad (7)$$

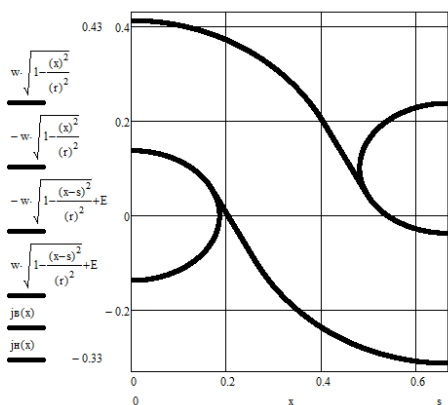


Рис. 1

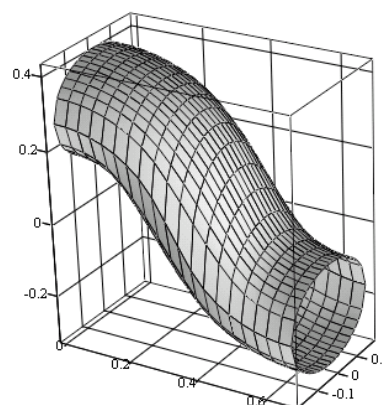


Рис. 2

Границы профиля нити в ткани представлены на рис. 1.

Трехмерная модель данного участка может быть выражена следующими функциями:

$$G_B(x, y) = \frac{j_B(x) + j_H(x)}{2} + \left( \frac{j_B(x) - j_H(x)}{2} \right) \sqrt{1 - \frac{y^2}{0,186^2}}, \quad (8)$$

$$G_H(x, y) = \frac{j_B(x) + j_H(x)}{2} + \left( \frac{j_H(x) - j_B(x)}{2} \right) \sqrt{1 - \frac{y^2}{0,186^2}}. \quad (9)$$

На рис. 2 (трехмерная модель нити в элементе ткани полотняного переплетения) представлены две поверхности, описывающие строение нити в ткани на интервале изгиба. Поверхности построены по уравнениям (8), (9) с учетом уравнений (6), (7) с помощью программы Mathcad.

При помощи данного метода можно строить совокупность поверхностей для описания строения ткани в трехмерном виде. Пример такого построения показан на рис. 3.

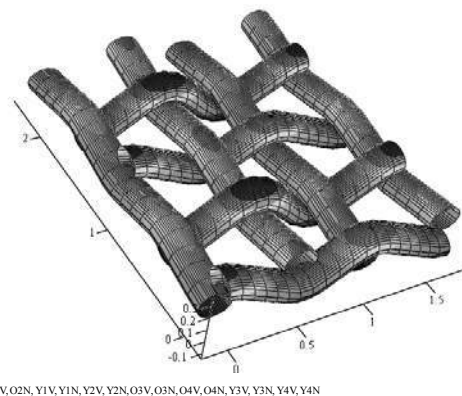


Рис. 3

## ВЫВОДЫ

Предложены математические выражения, с помощью которых возможно построение поверхностей, описывающих строение нитей в тканях полотняного переплетения.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Lomov S.V., Gusakov A.V., Huysmans G., Prodromou A., Verpoest I. Textile geometry preprocessor for meso-mechanical models of woven composites // *Composites Science and Technology*. – Vol. 60, 2000. P.2083...2095.

2. Lomov S.V., Huysmans G., Verpoest I. Hierarchy of textile structures and architecture of fabrics geometric models // *Textile Research Journal*. – Vol. 71, №6, 2001. P. 534...543.

3. Barbero E.J., Trovillion J., Mayugo J.A., Sikkil K.K. Finite element modeling of plain weave fabrics from photomicrograph measurements // *Composite structures*. – Vol.73, 2006. P. 41...52.

4. Hivet G., Boisse P. Consistent 3D geometrical model of fabric elementary cell. Application to a meshing preprocessor for 3D finite element analysis // *Finite Elements in Analysis and Design*. – 2005. P.25...42.

5. Barburski M., Masajtis J. Modelling of the change in structure of woven fabric under mechanical loading // *Fibres and textiles in eastern Europe*. – Vol.17, № 1, 2009. P. 39...44.

6. Гречухин А.П., Селиверстов В.Ю. Способ построения профиля нити в ткани // *Изв. вузов. Технология текстильной промышленности*. – 2010, №5. С. 52...55.

Рекомендована кафедрой ткачества. Поступила 03.06.11.