

УДК 677.019

**МЕТОДИКА ПОЛУЧЕНИЯ ИЗОБРАЖЕНИЯ ПОПЕРЕЧНОГО СЕЧЕНИЯ НИТИ  
НА НАКЛОННОЙ ПЛОСКОСТИ РАСПОЗНАВАНИЯ\***

**TECHNIQUE OF OBTAINING THE IMAGE OF CROSS SECTION OF A THREAD  
ON THE INCLINED PLANE OF RECOGNITION**

*В.А. ИВАНОВСКИЙ*  
*V.A. IVANOVSKY*

(Костромской государственной университет)  
(Kostroma State University)  
E-mail: info@kstu.edu.ru

*Работа посвящена распознаванию нити в структуре трехмерной армирующей ткани, используемой при производстве изделий из композитных материалов. Предложено решение проблемы получения изображения на наклонной плоскости распознавания в трехмерном пиксельном массиве, а также решена задача по определению координат центров поперечных сечений в общем трехмерном массиве.*

*Work is devoted to recognition of a thread in structure of the three-dimensional reinforcing fabric which is used by production of products from composite materials. The solution of the problem of obtaining the image on the inclined plane of recognition in the three-dimensional pixel massif is proposed, and the task of determination of coordinates of the centers of cross sections in the general three-dimensional massif is also solved.*

**Ключевые слова:** распознавание нитей трехмерной ткани, компьютерная томография, композитные материалы.

**Keywords:** recognition of threads of three-dimensional fabric, computer tomography, composite materials.

---

\* Работа выполнена под руководством проф., докт. техн. наук С.Н.Титова.

В настоящее время существует задача создания трехмерных цельнотканых структур для армирования композитных материалов [1], [2].

Качество изделий из композитных материалов в значительной степени зависит от пространственного расположения армирующих элементов – высокомодульных нитей, так как схема армирования должна соответствовать направлениям сил нагрузки [3], [4].

С развитием современной вычислительной техники все больше развиваются методы автоматизированного компьютерного анализа качества тканых структур [5], [6].

В работах [6], [7] предлагается методика по определению качества расположения армирующих элементов, основанная на сравнении изготовленного армирующего полуфабриката с его компьютерной моделью. Очевидно, что для этого необходим нераз-

рушающий метод анализа изделия [7...9]. Исследования показали, что наиболее эффективным оказался метод компьютерной томографии. Было предложено синтезировать трехмерный массив из получаемых томограмм объекта. Таким образом, решение задачи сводится к распознаванию каждой отдельной нити армирующей структуры в растровом трехмерном массиве данных и определение их параметров для дальнейшего сравнения с компьютерной моделью образца. Предложенная методика основана на расположении плоскости распознавания поперечного сечения нити перпендикулярно направлению ее следования. При этом возник ряд проблем по аккумулярованию информации на этой плоскости, а также по преобразованию координат распознаваемого объекта. Данная работа посвящена решению этих задач.

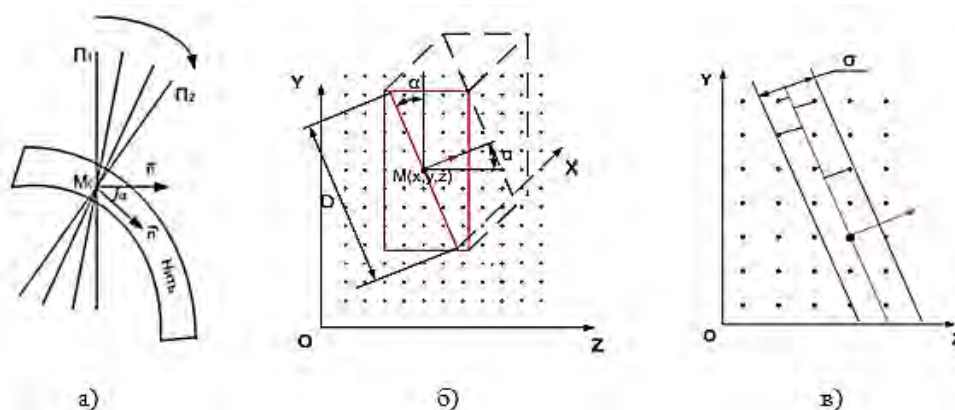


Рис. 1

Для определения плоскости распознавания расположенной перпендикулярно направлению нити необходимо исследовать несколько плоскостей под разными углами, проходящих через одну точку (рис. 1-а). Трехмерный массив данных представляет собой цифровые значения оттенков серого цвета (пиксели), расположенные в пространстве, то есть имеющие координаты по осям OX, OY, OZ.

Уравнение плоскости, заданное через точку  $M_0(x_0, y_0, z_0)$  и вектор нормали  $\vec{n}(n_1, n_2, n_3)$  к плоскости, в общем случае будет иметь следующий вид [6]:

$$n_x(x - x_0) + n_y(y - y_0) + n_z(z - z_0) = 0. \quad (1)$$

Рассмотрим частный случай поворота плоскости размером  $D \times D$  на угол  $\alpha$  (рис. 1-б) относительно осей OZ и OY. Плоскость может попасть между пикселей (рис. 1-в). В этом случае на плоскость распознавания попадает лишь малая часть необходимой информации (пикселей). Для решения этой проблемы предлагается спроецировать значения на данную плоскость из некоторой области  $\sigma$  (рис. 1-в).

В этом случае условие данного объема значений будет иметь следующий вид:

$$-\sigma/2 \leq n_x(x - x_0) + n_y(y - y_0) + n_z(z - z_0) \leq \sigma/2. \quad (2)$$

Далее следует преобразовать координаты всех точек области для того, чтобы получить обычный двумерный массив значений (изображение на плоскости), который подлежит дальнейшей обработке. В приведенных ниже формулах знаки «+» или «-» зависят от направления поворота плоскости, следовательно, при других углах поворота плоскости возможен реверс знака.

Воспользуемся стандартными уравнениями преобразования координат, предварительно вычислив общий угол наклона  $\alpha$ :

$$\alpha = \theta + \varphi ,$$

где  $\theta$  – начальный угол направления нормали к плоскости (либо угол нормали к плоскости, перпендикулярной направлению нити на предыдущем шаге);  $\varphi$  – угол наклона исследуемой плоскости относительно начального вектора (угол рыскания).

Зная общий угол наклона плоскости, можно найти координату начальной точки полученной плоскости распознавания (П.Р.) для переноса в нее системы координат:

$$a = My - D/2\cos(\alpha), \quad (3)$$

$$b = Mz + D/2\sin(\alpha), \quad (4)$$

где  $D$  – размер плоскости распознавания;  
 $M$  – точка центра плоскости.

Переносим начало координат в точку  $O'(a, b)$ , как показано на рис. 2-а, и поворачиваем систему координат на угол наклона плоскости  $\alpha$  (рис. 2-б).

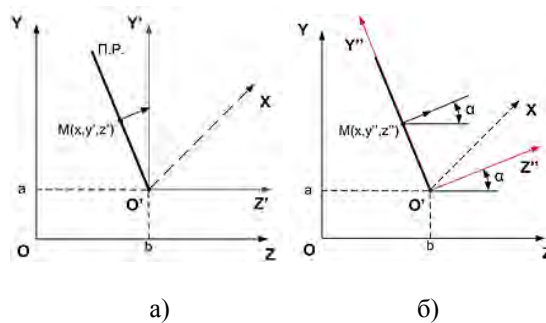


Рис. 2

Вычисляем новые координаты точек, попавших в объем, ограниченный условием (2), согласно следующим системам уравнений:

$$\begin{cases} y' = y - a, \\ z' = z - b, \end{cases} \quad (5)$$

$$\begin{cases} z'' = z' \cos(\alpha) + y' \sin(\alpha), \\ y'' = -z' \sin(\alpha) + y' \cos(\alpha). \end{cases} \quad (6)$$

Если для каждой точки с преобразованными координатами обнулить значение координаты по оси  $O'Z''$ , то получим проекции точек из области  $\sigma$  на плоскость распознавания.

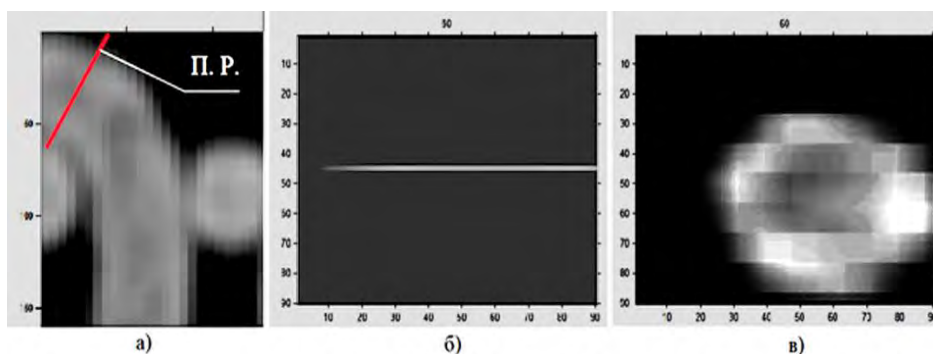


Рис. 3

На рис. 3-а изображено продольное сечение нити и проекция плоскости распознавания (П.Р.). На рис. 3-б изображена данная плоскость распознавания в случае, если выбраны пиксели, удовлетворяющие уравне-

нию (1). На рис. 3-в изображена плоскость распознавания в случае выбора пикселей трехмерного массива, удовлетворяющих условию (2).

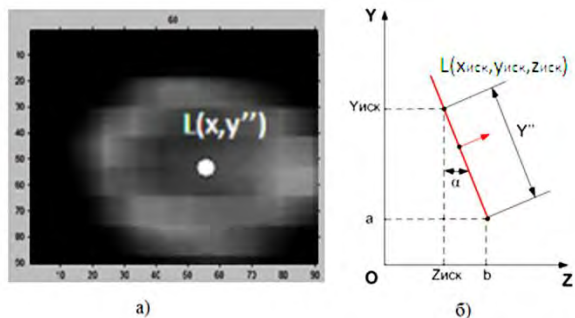


Рис. 4

Таким образом, получив изображение поперечного сечения нити на наклонной плоскости, обрабатываем его при помощи методики применения двумерного вейвлет-преобразования, предложенной в работе [10]. Предложенная методика позволяет найти центр поперечного сечения (рис. 4-а). После этого необходимо произвести обратные преобразования координат найденной точки  $L(x, y'')$  (рис. 4-б) для определения ее искоемых координат в трехмерной матрице по следующим уравнениям:

$$\begin{cases} Y_{иск} = a + y'' \cos(\alpha), \\ Z_{иск} = b - y'' \sin(\alpha). \end{cases} \quad (7)$$

Полученная точка  $L(X_{иск}, Y_{иск}, Z_{иск})$  с координатами в системе искомой трехмерной матрицы является центром поперечного сечения нити (перпендикулярного его направлению в данной точке).

## ВЫВОДЫ

Таким образом, путем модификации пространственного уравнения плоскости, а также проведения ряда преобразований координат полученных точек, была решена задача аккумуляции пикселей на наклонной плоскости распознавания, а также определения координат центров распознаваемых поперечных сечений нити в общем трехмерном массиве. Решение данных задач дает возможность определить пространственное расположение нитей в векторном виде, что необходимо при дальнейшем анализе качества их расположения в структуре трехмерной ткани.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Бенецкая В.В., Селиверстов В.Ю., Киселев А.М., Рудовский П.Н., Киселев М.В. Моделирование структуры тканей // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2013, №3. С.23...28.
2. Селиверстов В.Ю., Петров И.Н., Черкасов К.А. Механизм прокладывания утка для получения трехмерных текстильных изделий // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2013, №1. С. 66...69.
3. Жигун Е.Г. Влияние искривления волокон на жесткость и прочность композитных материалов: Дис....канд. техн. наук. – Рига, 1969.
4. Павлихина И.Ю., Сумарукова Р.И. Исследование расположения нитей в многослойной ткани облегченного типа // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2011, №4. С.28...31.
5. Волгин А.Б., Рудовский П.Н. Обработка и распознавание цифрового изображения самокрученных нитей с целью определения значения и направления крутки // Вестник Костромского гос. технолог. ун-та. – 2012, №2. С.37...38.
6. Ивановский В.А. Распознавание нити в структуре трехмерной ткани // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2014, №5. С.15...18.
7. Ивановский В.А. Развитие систем неразрушающего контроля армирующих тканых структур // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2013, №1. С. 151...155.
8. Ивановский В.А. Диагностика армирующих тканых структур при производстве композитных материалов // Вестник Костромского гос. технолог. ун-та. – 2013, №1(30). С.47...49.
9. Некрасова Н.П. Анализ существующих методов неразрушающего контроля параметров строения ткани // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2011, №4. С.54...56.
10. Ивановский В.А. Применение вейвлет-преобразования при определении поперечного профиля нити в структуре трехмерной ткани // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2015, №3. С. 138...143.

## REFERENCES

1. Beneckaya V.V., Seliverstov V.YU., Kiselev A.M., Rudovskij P.N., Kiselev M.V. Modelirovanie struktury tkanej // Izv. vuzov. Tekhnologiya tekstil'noj promyshlennosti. – 2013, №3. S.23...28.
2. Seliverstov V.YU., Petrov I.N., Cherkasov K.A. Mekhanizm prokladyvaniya utka dlya polucheniya trekhmernih tekstil'nyh izdelij // Izv. vuzov. Tekhnologiya tekstil'noj promyshlennosti. – 2013, №1. S. 66...69.
3. Zhigun E.G. Vliyanie iskrivleniya volokon na zhestkost' i prochnost' kompozitnyh materialov: Dis....kand. tekhn. nauk. – Riga, 1969.

4. Pavlihina I.Yu., Sumarukova R.I. Issledovanie raspolozheniya nitej v mnogoslojnoj tkani oblegchenogo tipa // Izv. vuzov. Tekhnologiya tekstil'noj promyshlennosti. – 2011, №4. S.28...31.

5. Volgin A.B., Rudovskij P.N. Obrabotka i raspoznavanie cifrovogo izobrazheniya samokruchenyh nitej s cel'yu opredeleniya znacheniya i napravleniya krutki // Vestnik Kostromskogo gos. tekhnolog. un-ta. – 2012, №2. S.37...38.

6. Ivanovskij V.A. Raspoznavanie niti v strukture trekhmernoj tkani // Izv. vuzov. Tekhnologiya tekstil'noj promyshlennosti. – 2014, №5. S.15...18.

7. Ivanovskij V.A. Razvitie sistem nerazrushayushchego kontrolya armiruyushchih tkanyh struktur // Izv. vuzov. Tekhnologiya tekstil'noj promyshlennosti. – 2013, №1. S. 151...155.

8. Ivanovskij V.A. Diagnostika armiruyushchih tkanyh struktur pri proizvodstve kompozitnyh materialov // Vestnik Kostromskogo gos. tekhnolog. un-ta. – 2013, №1(30). S.47...49.

9. Nekrasova N.P. Analiz sushchestvuyushchih metodov nerazrushayushchego kontrolya parametrov stroeniya tkani // Izv. vuzov. Tekhnologiya tekstil'noj promyshlennosti. – 2011, №4. S.54...56.

10. Ivanovskij V.A. Primenenie vejvlet-preobrazovaniya pri opredelenii poperechnogo profilya niti v strukture trekhmernoj tkani // Izv. vuzov. Tekhnologiya tekstil'noj promyshlennosti. – 2015, №3. S. 138...143.

Рекомендована кафедрой теории механизмов и машин, деталей машин и проектирования технологических машин. Поступила 29.03.16.