

УДК 539.3:621.002.3 (035)

МОДЕЛИРОВАНИЕ СТРУКТУРЫ ТКАНЕЙ

MODELLING OF FABRICS STRUCTURE

В.В. БЕНЕЦКАЯ, В.Ю. СЕЛИВЕРСТОВ, А.М. КИСЕЛЕВ, П.Н. РУДОВСКИЙ, М.В. КИСЕЛЕВ
V.V. BENETSKAYA, V.YU. SELIVERSTOV, A.M. KISELEV, P.N. RUDOVSKIY, M.V. KISELEV

(Костромской государственный технологический университет)

(Kostroma State Technological University)

E-mail: info@kstu.edu.ru

Предложен новый метод описания структуры ткани. Метод основывается на новом способе описания положения нитей друг относительно друга и характера поведения нитей в пространстве, на этой базе предложена векторная структура. В программном продукте SolidWorks с помощью разработанного ПО построены модели основных тканых структур.

A new method of a description of a woven fabrics structure has created. This method is based on a new way of description of yarns locations and yarns paths types, which results in a fabric structure vector. Models of base woven structures have constructed in the SolidWorks software product by using specially created software.

Ключевые слова: текстильные материалы, структура ткани, компьютерное моделирование.

Keywords: textile materials, woven fabrics structure, computer modeling.

На сегодняшний день сложилась довольно обширная классификация тканых материалов. Современные методы исследования материалов таковы, что каждый изучаемый экземпляр нуждается в достоверной геометрической модели, которая необходима для проведения конечно-элементного анализа. Для построения достоверной геометрической модели необходимо достоверное однозначное описание структуры материала.

Большинство методов построения геометрической модели представляют ткань при помощи набора математических инструментов (матрицы, уравнения) увязывающих нити друг с другом. Таким образом, в одном инструменте получаем данные по разным нитям и данные по одной нити в разных инструментах, что очень сильно осложняет корректировку моделируемой структуры.

Объектом настоящей статьи является новый подход к описанию структуры ткани, сводящийся к определению поведения отдельной нити относительно самой себя в контексте трехмерного пространства материала, дефрагментированного по трем направлениям с определенным шагом, зависящим от диаметра нитей и плотности материала, и составления набора из произвольного числа нитей. Данный метод разработан в ходе исследования трехмерных тканей и в силу своей универсальности оказался потенциально применим для любого вида текстильных материалов на основе нитей.

Рассмотрим модель структуры многослойной ткани с использованием упрощающих приближений и подходов, предложенных другими исследователями. Все эти методы представляют положение одной нити (слоя) относительно другой нити (слоя).

Авторы работ [1...5] в процессе кодирования структуры ткани, как однослойной, так и многослойной, используют матричное описание структуры готовой ткани, описывая взаимное расположение нитей с помощью рангов.

Каждый метод предполагает заполнение ряда матриц взаимосвязанными данными. В принципе, трудности заполнения матриц возможно решить программными средствами, как поступил автор работы [4], создав целую среду для моделирования трехмерных материалов WiseTex. Однако объем исходной информации, обилие взаимосвязей данных и количество манипуляций остались высоки. Предложенные матричные методы слишком узкоспециализированы и, как следствие, не находят места в универсальных САД-системах.

Суть векторного представления структуры материала. Итак, объект проектирования – ткань, представленная в трехмерном пространстве. Поскольку на этапе построения геометрической модели конечным элементом является нить, то представим ткань как набор нитей, каждая из которых проходит в пространстве определенный путь. Наша задача – описать это движение, абстрагировавшись от других нитей, и использовать полученную модель каждой нити в качестве шаблона для заполнения им в необходимом объеме пространство моделируемого материала.

При подобном описании нити в трехмерном пространстве идентифицирующей информацией будут координаты начальной точки и закон изменения координат. В случае ткани закон изменения координат нити в пространстве описать уравнением крайне затруднительно, поэтому определяем периодический путь нити, разбиваем его на участки с постоянным направлением с одновременным образованием точек смены направления. Теперь идентифицирующая информация для отдельной нити – это последовательность точек смены направления. Положение каждой точки смены направления представим относительно положения предшествующей точки данной нити. Единицами измерения координат будет являться количество интервалов, на которые дефрагментировано все пространство материала по трем направлениям.

Таким образом, структура материала будет представлена вектором материала M :

$$M = [I, N1, N2, \dots, Nn],$$

где $I = [I_x, I_y, I_z]$ – вектор, описывающий дефрагментацию по осям; $N1, N2, \dots, Nn$ – векторы нитей.

Дефрагментация по каждой оси представляется последовательностью отрезков определенной размерности:

$$I_x = [I_{x_1}..I_{x_{n_x}}], I_y = [I_{y_1}..I_{y_{n_y}}], \\ I_z = [I_{z_1}..I_{z_{n_z}}].$$

А именно, размер каждого отрезка определяется следующим образом:

$$I_{x_i} = F_x(Dx_i, kx_i),$$

где $i \in [1..n_x]$; n_x – число разноописываемых нитей вдоль оси x ; I_{x_i} – размер i -го интервала; Dx_i – линейный размер сечения i -й нити вдоль оси x ; kx_i – показатель разреженности в окружении i -й нити; F_x – определенный закон;

$$I_{y_j} = F_y(Dy_j, ky_j),$$

где $j \in [1..n_y]$; n_y – число разноописываемых нитей вдоль оси y ; I_{y_j} – размер j -го интервала; Dy_j – линейный размер сечения j -й нити вдоль оси y ; ky_j – показатель разреженности в окружении j -й нити; F_y – определенный закон;

$$I_{z_k} = F_z(Dz_k, kz_k),$$

где $k \in [1..n_z]$; n_z – число разноописываемых нитей вдоль оси z ; I_{z_k} – размер k -го интервала; Dz_k – линейный размер сечения k -й нити вдоль оси z ; kz_k – показатель разреженности в окружении k -й нити; F_z – определенный закон.

Структура векторов нитей имеет следующий вид:

$$N1, N2, \dots, Nn = [Dx, Dy, Dz, T0, SN_{1..q}],$$

где Dx, Dy, Dz – линейные размеры сечения нити по осям; $T0$ – вектор начальной точки системы координат нити; SN – вектор шаблона движения нити.

$$T0 = [p, x_0, y_0],$$

где $p \in ["Спереди", "Слева", "Снизу"]$ ("Спереди" – направление вдоль оси Y в сторону увеличения значений, "Слева" – направление вдоль оси X в сторону увеличения значений, "Снизу" – направление вдоль оси Z в сторону увеличения значений); x_0, y_0 – координаты точки на поверхности выбранной стороны.

Поскольку шаблонов движения нити предполагается большое (неограниченное) количество, их можно объединить в один массив:

$$SN = [SN_1, \dots, SN_q]$$

с неограниченным числом элементов q .

$$SN_1, \dots, SN_q = [T1, T2, \dots, Tn],$$

где $T1, T2, \dots, Tn$ – векторы точек смены направления нити.

$$T1, \dots, Tn = [dx, dy, dz],$$

где dx, dy, dz – координаты точки Tn относительно точки $Tn-1$.

Реализация векторного метода. Рассмотрим предложенный метод на примере структуры, изображенной на рис. 1 (эскиз 3D-ткани).

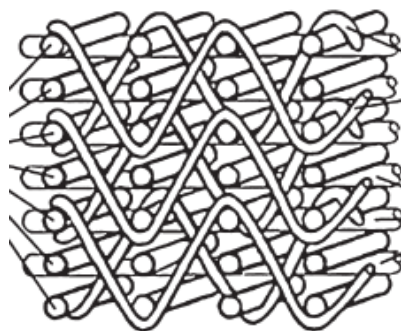


Рис. 1

В данной модели можно выделить три типа нитей, выбрав в качестве типопределяющего признака поведение в пространстве. Нити первого типа двигаются прямо, нити второго и третьего типа двигаются лежащей на плоскости волной с разницей в фазе. Вектор материала в силу периодичности имеет следующий вид:

$$SN = [SN_1, SN_2, SN_3] - \text{три шаблона}$$

движения,

$$SN_1 = [T1], T1 = [1, 0, 0],$$

$$SN_2 = [T1, T2], T1 = [3, 0, 6],$$

$$T2 = [3, 0, -6],$$

$$SN_3 = [T1, T2], T1 = [3, 0, -6],$$

$$T2 = [3, 0, 6].$$

$$M = [I, N1, N2, N3, N4],$$

где

$$I = [[d], [d], [d, d/2, d/2]],$$

где d – диаметр нити,

$$N1 = [d, d, d, T0, SN_1],$$

где $T0 = ["Снизу", 2, 2],$

$$N2 = [d, d, d, T0, SN_1],$$

где $T0 = ["Слева", 1, 3],$

$$N3 = [d/2, T0, SN_2],$$

где $T0 = ["Слева", 2, 1],$

$$N4 = [d/2, T0, SN_3],$$

где $T0 = ["Слева", 3, 7].$

В итоге создается коллекция нитей с уникальными координатами начальной точки, первичным направлением и законом движения в виде вектора смещений, визуализация которой представлена на рис. 2 (трехмерная модель 3D-ткани).

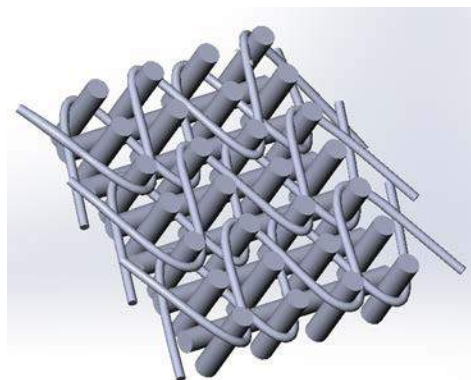
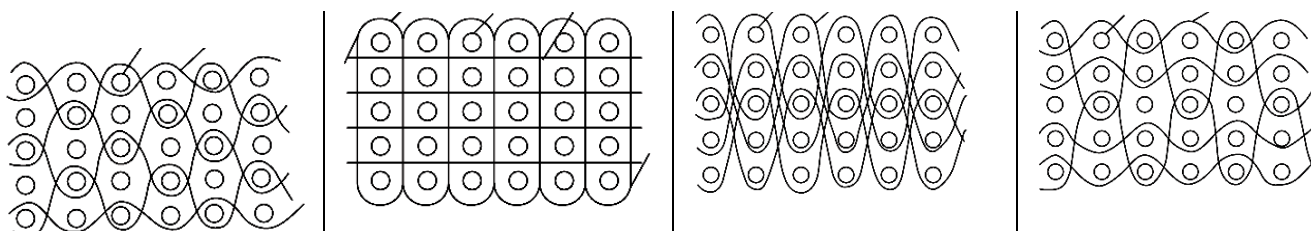


Рис. 2

На рис. 3 (трехмерные модели 3D-тканей основных переплетений: а) – ортогональная структура с переплетением слоев, б) – ортогональная структура, в) – структура наклонный интерлок, г) – модифицированная структура наклонный интерлок) представлены модели материалов основных классификационных групп многослойных тканей [7], реализованные с использованием предложенного метода.



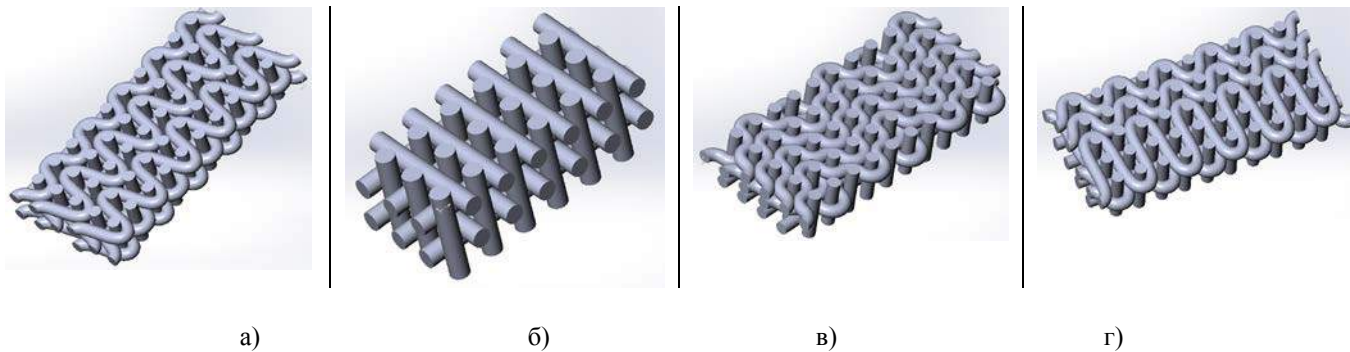


Рис. 3

Рассмотрим преимущества векторного метода. Поскольку элементарной единицей при описании полотна векторным методом является нить (ее поведение в пространстве относительно себя), этот метод применим для любых материалов на основе нитей (волокон). Предложенный векторный метод не требует таких понятий, как слой, уток, основа и т.п., вследствие чего не привязан к конкретному типу ткани. В реальности любой материал трехмерен, а наличие слоев, их количество лишь частный случай неструктурированного материала. По этой причине единственным условием для применимости данного метода является волокно-основа моделируемого материала. Так, на базе предложенного метода смоделированы структуры простейших тканых полотен (рис. 4 – трехмерные модели структуры 2D-ткани).

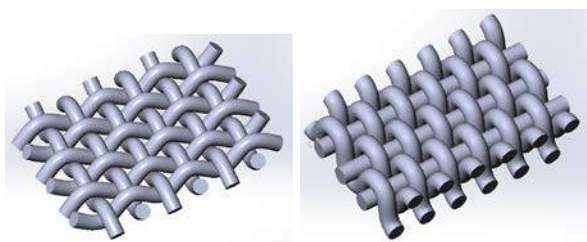


Рис. 4

Однослойная в классическом понимании ткань в рамках метода представляется двуслойным материалом. В случае прямых

нитей основы материал будет рассмотрен как трехслойная конструкция.

Предложенный метод также позволяет моделировать скручивание нитей (рис. 5 – трехмерная модель скрученных нитей).



Рис. 5

Выполнение моделирования полного спектра нитей станет возможным после перехода на цилиндрическую систему координат, что позволит разместить любое количество нитей (выбрать участки после дефрагментации), равноудаленных от определенной точки, с последующим скручиванием.

Все приведенные построения были выполнены в универсальной CAD системе универсальными инструментами при использовании разработанного одним из авторов программного обеспечения (ИС "Ткань"), интерфейс которого позволяет в несколько кликов мыши выбирать необходимый тип нити, определять ей положение в материале, устанавливать размеры элементов. Для материала, приведенного на рис. 3-б, окно программы будет иметь вид, представленный на рис. 6 (окно ввода исходных данных ИС "Ткань").

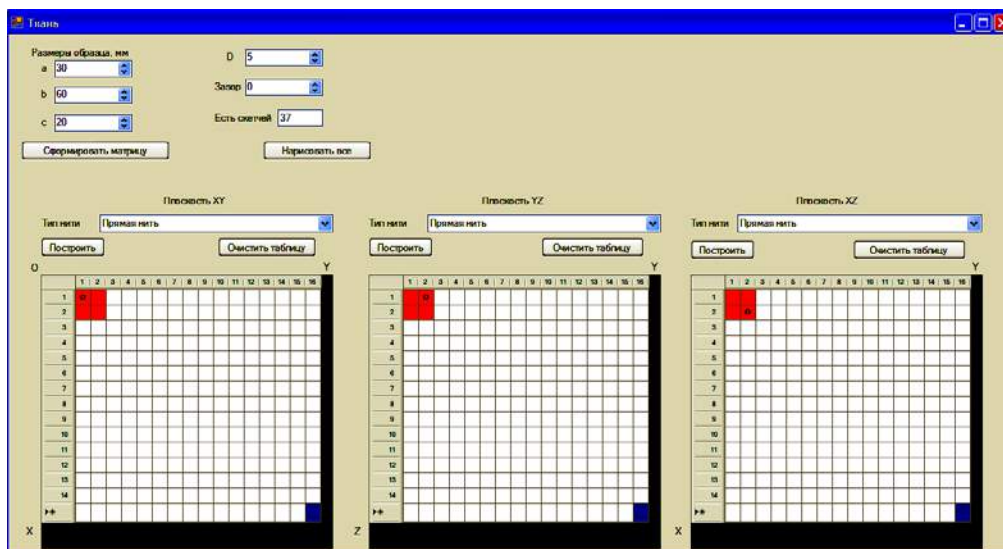


Рис. 6

Поскольку большинство материалов имеют в своей основе нити либо волокна, то обеспечивается высокий процент применимости изложенного в статье подхода к моделированию трехмерной структуры этих материалов.

ВЫВОДЫ

Предложен новый метод описания структуры многослойной ткани, предполагающий независимость описания каждой нити относительно соседних. Основными преимуществами этого метода перед матричными методами являются: возможность реализовать модели абсолютно любых трехмерных материалов, имеющих в основе нити (волокна); возможность реализации на базе универсальных CAD-систем.

ЛИТЕРАТУРА

1. Колтышева Н.Г. Разработка структур и технологии выработки льносодержащих многослойных тканей: Дис...канд. техн. наук. – СПб., 2001.
2. Grunbaum B. and Shephard G.C. *Satin and Twills – An Introduction to the Geometry of Fabrics.* – Math. Mag. – 1980.
3. Pedersen J.J. *Geometry: The Unity of Theory and Practice // The Mathematical Intelligencer.* – 1983.
4. Ломов С.В., Гусаков А.В. Метод кодирования многослойных тканей // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 1993, №3. С. 40...45.
5. Гусаков А.В. и др. *Производство технического текстиля.* – СПб.: Недра, 1999.
6. Newton A. and Sarkar B.P. *An Analysis of Compound Weaves // J. Text. Inst.* – 1979, 70. P. 427...438.
7. HU J. *3D-fibrous assemblies. Properties, applications, and modeling of three-dimensional textile structures.* – Woodhead Publishing Limited in association with The Textile Institute, 2008.

Рекомендована кафедрой механической технологии волокнистых материалов. Поступила 07.06.13.