

УДК 677.022:19.86

**СТАТИСТИЧЕСКОЕ КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ  
ОДНООСНОГО РАСТЯЖЕНИЯ ТКАНОГО ПОЛОТНА  
МЕТОДОМ КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ**

**STATISTICAL COMPUTER SIMULATION  
OF PLAIN FABRIC'S ONE-DIMENSIONAL ELONGATION  
WITH FINITE ELEMENT'S METHOD**

*П.А. СЕВОСТЬЯНОВ, Д.А. ЗАБРОДИН, П.Е. ДАСЮК, Е.А. БАЛАНДИН*  
*P.A. SEVOSTYANOV, D.A. ZABRODIN, P.E. DASYUK, E.A. BALANDIN*

(Московский государственный университет дизайна и технологии)  
(Moscow State University of Design and Technology)

E-mail: petrsev46@yandex.ru

*В статье рассматривается компьютерная модель и приводятся результаты моделирования одноосного растяжения прямоугольного образца однослойной ткани с учетом случайных статистических вариаций геометрических характеристик и параметров прочностных свойств основных и уточных нитей. Показано принципиально важное значение этих случайных вариаций для возникновения и развития в образце ткани областей повышенной деформации, ответственных за разрыв ткани.*

*The article presents designing of computer model and simulation's results of rectangular fabric's one-dimensional elongation with random variations of geometric and strength characteristics of warp and weft. It's found out fundamental importance of these random variations on appearance and development of higher deformation's regions, leading to destruction of fabric.*

**Ключевые слова:** компьютерная модель, прямоугольный образец, однослойная ткань, случайные статистические вариации, параметры прочностных свойств основных и уточных нитей.

**Keywords:** computer model, rectangular sample, single-layered fabric, casual statistic variations, parametres of strength characteristics of warp and weft.

Уникальные механические свойства тканей как материала для различных технических и бытовых целей использования связаны со свойствами образующих их ни-

тей и спецификой их взаимодействия в переплетении. При моделировании нити в ткани обычно рассматривают как цилиндры круглого сечения с осью, более или ме-

нее приближенно описывающей искривление нити в ткани [1], [2], [7]. Между тем, достаточно посмотреть на фотографии участков ткани, чтобы убедиться в том, насколько такое представление далеко от действительности у большинства тканей.

При формировании элемента ткани под действием сил взаимного сжатия между нитями основы и утка поперечные сечения нитей приобретают и сохраняют после релаксации напряжений форму расплюснутых овалов или фасолеобразную форму. Вследствие такого расплющивания нити заполняют своей волокнистой массой практически всю плоскость ткани. В промежутках между областями перекрытия основных и уточных нитей форма поперечных сечений нитей может заметно отличаться от их формы в этих областях [3], [4]. Поскольку нити основы и утка состоят из большого числа волокон или элементарных нитей, то их поперечные сечения могут сильно отличаться от сечения к сечению в пределах одной нити и тем более между разными нитями.

Вследствие таких вариаций в сечениях нитей, а также из-за неровноты нитей по любым свойствам вдоль их длины, геометрические и механические свойства элементов ткани имеют случайные вариации от-

носительно средних значений. При приложении механических нагрузок к участку ткани эти вариации проявляются в неравномерной деформации участков ткани.

Для оценки величины этих эффектов была построена модель прямоугольного образца однослойной ткани, к которому приложена одноосная монотонно нарастающая растягивающая нагрузка [4], [5]. Образец рассматривался как статистически однородная упругая среда со средним модулем упругости  $E_{sr}$  и средним коэффициентом Пуассона  $m_{sr}$ , и коэффициентами вариации этих параметров  $CV_E$  и  $CV_m$ . В качестве закона распределения  $E$  и  $m$  было выбрано распределение модуля нормальной случайной величины с соответствующими средними и коэффициентами вариации [6].

Для того чтобы учесть периодическую структуру ткани, связанную с переплетением и периодическим чередованием перекрытий нитей основы и утка и промежутков между ними, к модулю упругости и коэффициенту Пуассона, кроме случайной составляющей, добавлялась периодическая составляющая. В результате модуль упругости и коэффициент Пуассона задавались в каждой точке  $(x; y)$  поля функциями:

$$E(x, y) = 1e9 \left( 1 + 0,3 \sin \left( 2000\pi \frac{xy}{L^2} \right) + 0,08 \operatorname{rndn} \left( \frac{x}{L}, \frac{2y}{L} \right) \right),$$

$$m(x, y) = 0,24 \left( 1 + 0,5 \cos \left( 2000\pi \frac{xy}{L^2} \right) + 0,12 \operatorname{rndn} \left( \frac{x}{L}, \frac{2y}{L} \right) \right).$$

Здесь  $E_{sr} = 1e9$  Па,  $m_{sr} = 0,24$ . Функция  $\operatorname{rndn}$  представляет собой обращение к генератору нормально распределенных случайных чисел с нулевым средним и коэффициентами вариации  $CV_E = 15\%$  и  $CV_m = 0,1\%$ .  $L$  – длина образца по основе, измеренная в единицах среднего расстояния между нитями утка.

Имитация растяжения образца выполнена методом конечных элементов в программной системе Comsol Femlab, version 4.2 с генерацией случайного поля модуля упругости и коэффициента Пуассона по элементам [5]. Длина образца по основе в

2 раза больше длины по утку. Максимальное удлинение по основе было равно 10% от начальной длины образца. Для контроля за развитием деформации по площади образца фиксировались поля смещений элементов во времени. Эти поля отображались линиями уровня, которые приведены на рис. 1 (линии уровня смещения элементов плоскости образца ткани с нарастающей внешней удлиняющей нагрузкой.  $CV_E = 10\%$ ;  $CV_m = 10\%$  Относительные удлинения образца: а) 2%, б) 4%, в) 8%, г) 10%). Прямоугольник отмечает исходные размеры образца.

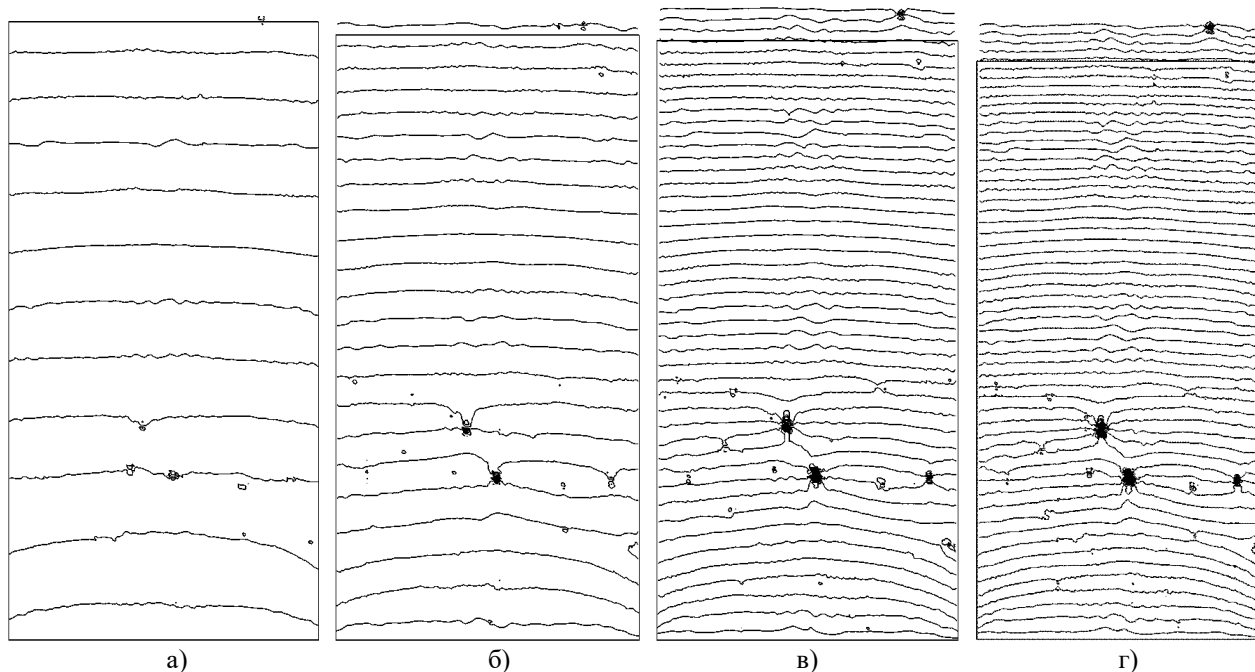


Рис. 1

Важнейшим эффектом, наблюдаемым на приведенных изображениях полей, является наличие областей дислокаций деформации, в которых не только происходит концентрация деформации, но и отмечается большой градиент величины деформации. Эти области возникали при каждом прогоне модели в разном количестве и в разных участках поля, что говорит об устойчивости явления. По мере роста деформации концентрация деформации и градиента деформации в областях дислокаций нарастает. Можно считать, что именно эти области являются наиболее предрасположенными к разрушению нитей и нарушению целостности ткани.

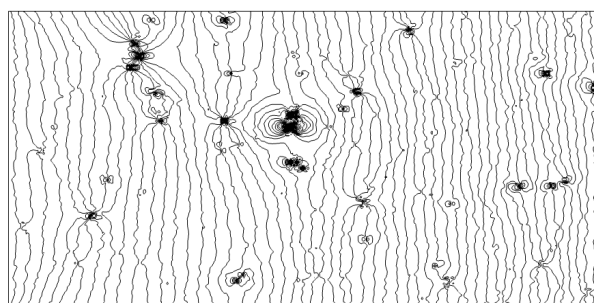


Рис. 2

Роль периодической составляющей в модуле упругости и коэффициенте Пуассона весьма важна. Для подтверждения

этого на рис. 2 (одноосное растяжение статистически однородного образца со случайными вариациями модуля упругости и коэффициента Пуассона при отсутствии периодических вариаций этих параметров) приведена картина поля деформации, полученная при тех же условиях, что и приведенные на рис.1-г, но при отсутствии периодической составляющей. Линии уровня равных деформаций менее упорядочены, а число дислокаций заметно больше. В случае периодических вариаций параметров  $E$  и  $\nu$  часть таких случайных дислокаций могла совпасть с упрочненными местами образца в областях перекрытия нитей основы и утка, что и уменьшило общее число дислокаций.

## ВЫВОДЫ

Разработанная компьютерная модель одноосного удлинения прямоугольного образца однослойной ткани с учетом случайных и периодических вариаций прочностных характеристик нитей, выраженных через модуль упругости и коэффициент Пуассона, позволила установить особенности развития деформации в образце, образование областей дислокации деформации, и подтвердить природу развития

нарушений целостности тканого материала, как следствия таких дислокаций. Для реализации модели использован метод конечных элементов в сочетании с методом статистического моделирования.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. *Гречухин А.П., Селиверстов В.Ю.* Исследование формы нити в ткани полотняного переплетения // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2013, № 5. С.41...44.

2. *Раджабов И.С.* Теоретическое определение изменения линейных размеров тканей в зависимости от направления // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2012, № 6. С.36...39.

3. *Толубеева Г.И., Коробов Н.А.* Методика построения объемной модели однослойной ремизной ткани // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2013, № 1. С.61...66.

4. *Толубеева Г.И., Якубова И.Г., Пятли С.Г.* Методика расчета уработок нитей полотна по заправочным данным ткани и высоте волны изгиба основы // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2012, № 1. С.54...58.

5. *Севостьянов П.А.* Компьютерные модели в механике волокнистых материалов. – М.: "Тисо Принт", 2013.

6. *Секованова Л.А., Рыбакова Н.А.* Применение теории случайных функций к моделированию неровноты пряжи // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2011, №5. С.53...57.

7. *Щербаков В.П., Дмитриев О.Ю., Цыганов И.Б., Скуланова Н.С., Попова Е.Р.* Теоретические основы и экспериментальное определение жесткости нити при кручении и изгибе // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2013, №1. С.156...161.

Рекомендована кафедрой автоматизированных систем обработки информации и управления. Поступила 26.05.14.