

УДК 677.1/5:519.2

**ОБОБЩЕННАЯ ПЕРКОЛЯЦИОННАЯ МОДЕЛЬ ИЗНОСА  
ДВУМЕРНЫХ ПОЛОТЕН ИЗ ВОЛОКНИСТЫХ МАТЕРИАЛОВ**

**GENERALIZED PERCOLATION MODEL OF DETERIORATION  
OF TWO-DIMENSIONAL FABRICS MADE OF FIBROUS MATERIALS**

*П.А. СЕВОСТЬЯНОВ, Д.А. ЗАБРОДИН*  
*P.A. SEVOSTYANOV, D.A. ZABRODIN*

(Московский государственный текстильный университет им. А.Н. Косыгина)  
(Moscow State Textile University "A.N. Kosygin")  
E-mail: spa46@pochta.ru

*Статья содержит описание модели развития деформации текстильных полотен с использованием перколяционной схемы. Здесь же приведены графики динамики разрушения полотна, полученные на основе прогона построенной модели.*

*Article contains the description of a model of development of textile fabrics deformation using the percolation scheme. The schedules of dynamics of fabrics destruction received on the basis of the constructed model run are presented.*

**Ключевые слова:** волокнистые материалы, двумерные полотна, перколяционный эффект, модель износа.

**Keywords:** fibrous materials, two-dimensional fabrics, percolation effect, deterioration model.

Износ изделий из текстильных полотен в процессе эксплуатации является главной причиной, определяющей необходимость разработки и производства новых материалов. Износ вызван воздействием химических, физико-химических и физических факторов, таких как агрессивная среда, светопогода, циклические и случайные механические нагрузки и др. Поэтому исследованиям механизмов износа посвящено очень большое число работ. Один из продуктивных подходов исследования осно-

ван на создании моделей износа на основе представлений о его механизме.

За последние десятилетия для описания динамики различных явлений, развивающихся в материалах, успешно используют модель перколяции [1], [2]. Она строится следующим образом. Образец материала, например, двумерное полотно из волокнистого материала, мысленно разделяется на большое число взаимодействующих элементов, например, через общие границы. На первом этапе по некоторому признаку, относящемуся к исследуемому явлению, из

всего множества элементов выделяют подмножество элементов. На втором этапе из этого подмножества формируют кластеры, в которые объединяют взаимодействующие между собой элементы. Всем элементам одного и того же кластера присваивают одинаковые номера. На третьем этапе проверяют, имеются ли элементы одного и того же кластера на противоположных границах образца. Если да, то считается, что образец достиг порога перколяции, то есть перколяционного эффекта.

В зависимости от исследуемого явления под перколяцией понимаются, например, проницаемость пористого материала, фильтрация, электропроводность, диффузия, развитие дислокаций, механических повреждений и трещин. Разработаны алгоритмы для выделения и нумерации кластеров для плоских и трехмерных образцов материалов и сред. Хотя эти алгоритмы не зависят от конкретного явления, но при построении динамической модели перколяционную схему необходимо включать в модель изменения свойств отдельных элементов образца в процессе развития изучаемого явления. Эта модель является уникальной для каждого явления и для каждого класса материалов.

Естественно пытаться использовать перколяционную схему для описания износа и разрушения текстильных полотен. Ниже описывается модель развития деформации в прямоугольном образце двумерного материала под действием механической нагрузки. Предполагается, что образец имеет прямоугольную форму и разделен на равное число  $N_{size}$  прямоугольников по декартовым осям. Линейные размеры каждого прямоугольного элемента равны  $dx$  и  $dy$ , так что размеры образца  $L_x = N_{size} dx$  и  $L_y = N_{size} dy$ . Каждый элемент является упругим до предела прочности  $S$ . Параметры элементов: плотность материала  $g$ , толщина  $h$ , модуль упругости  $E$ , предел деформации  $S$  – могут отличаться от средних значений, причем их вариации  $\delta$  содержат как детерминированную, так и случайную составляющие. Следовательно, для всего образца значения  $g$ ,  $h$ ,  $E$  и  $S$  опи-

сываются квадратными матрицами размерности  $N_{size}^2$ .

Компьютерная модель динамики развития деформации и разрушения образца включает следующие процедуры.

1. Генерация матриц  $g$ ,  $h$ ,  $E$  и  $S$  с выбранными средними значениями и характеристиками вариаций. Задание начального значения времени  $t = 0$ .

2. Расчет напряженного состояния и величины деформации для каждого из элементов образца. В соответствии с условием равновесия действующих сил можно предположить, что на каждый элемент действует одна и та же элементарная сила  $F$ . Тогда в случае одномерной деформации сжатия изменение толщины элемента с индексами  $(i, j)$  будет равно  $dh_{ij} = Fh_{ij} / (E_{ij} dx dy)$ . Изменение толщины образца составит  $h_{ij}(t) = h_{ij}(t-1) - dh_{ij}$ .

3. Для каждого элемента проверка условия достижения предела деформации  $(h_{ij}(t) - h_{ij}(0)) / h_{ij}(0) > S_{ij}$ . При выполнении условия элемент заносится в подмножество элементов, достигших износа.

4. Использование перколяционной процедуры для формирования кластеров из выделенного подмножества элементов. Нумерация кластеров и образующих их элементов.

5. Внесение изменений в параметры элементов вследствие деформации. На этом этапе максимально учитывается специфика моделируемого материала. В рассматриваемом примере единственным параметром элемента является его модуль упругости  $E_{ij}$ . Изменение модуля упругости происходит в сторону его уменьшения, что означает снижение упругого сопротивления нагрузке у данного элемента. Это изменение происходит на случайную величину, но в среднем тем больше, чем больше деформировался образец на предыдущих этапах действия нагрузки. Такое изменение модуля упругости описывается некоторой подходящей аппроксимирующей формулой, например:

$$E_{ij}(t+1) = \frac{E_{ij}(t)}{1 + a_E dh_{ij}(t)/h_{ij}(0)}$$

Кроме того, изменение модуля упругости у конкретного элемента зависит также от значений модуля у соседних элементов. Тем самым возникает явление положительной обратной связи, при которой деформация элементов кластера распространяется по поверхности образца.

6. Проверка условия возникновения перколяционного эффекта между противоположными ( $i = 1$  и  $i = N_{\text{size}}$ ) краями образца. При отсутствии эффекта  $t = t + 1$ ; переход к п. 2. При обнаружении эффекта – завершение процедуры.

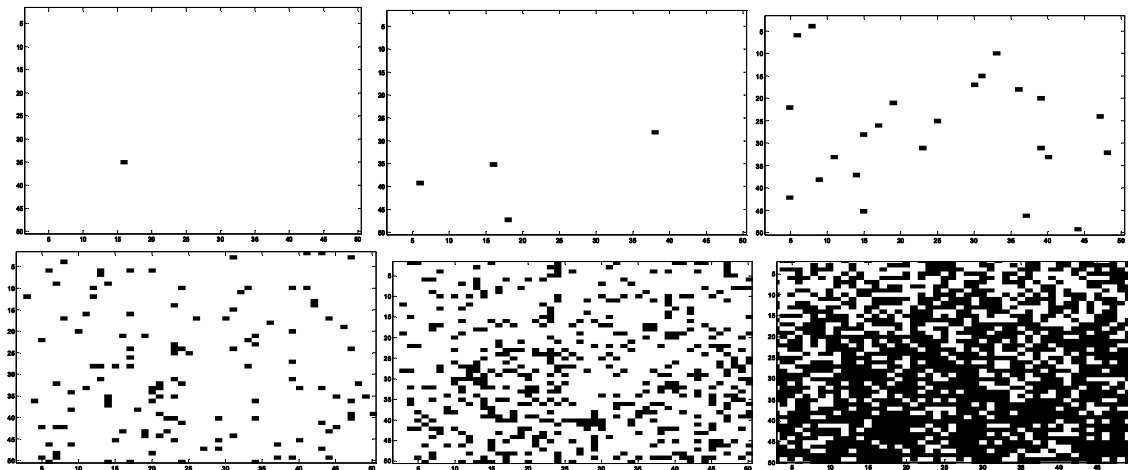


Рис. 1

На рис. 1 изображена динамика распространения износа (нарушения предела деформации) у элементов по поверхности образца, однородного по средним значениям параметров и со случайными стационарными вариациями параметров.

При закономерных изменениях однородности параметров образца по его площади характер нарастания износа существенно изменяется (рис. 2).

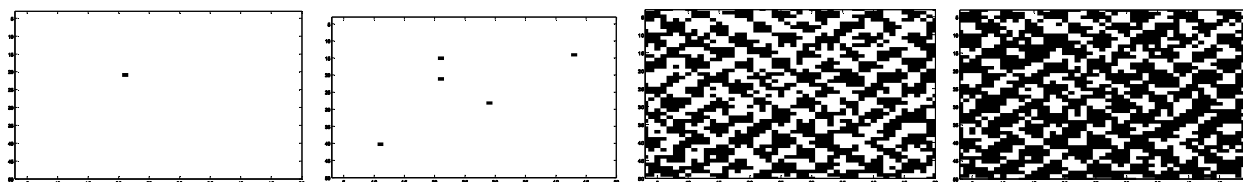


Рис. 2

## ВЫВОДЫ

Разработана компьютерная модель динамики разрушения образца ткани на основе перколяционной схемы. Проведены испытания разработанной компьютерной модели, по результатам построены графики динамики распространения износа поверхности ткани.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Тарасевич Ю.Ю. Перколяция: теория, приложения, алгоритмы. – 2002.
2. Stauffer D., Aharony A. Introduction to Percolation Theory. Taylor and Fransis. – London, 1994.

Рекомендована кафедрой информационных технологий и систем автоматизированного проектирования. Поступила 03.06.11.