

# Компьютерное моделирование упрочняющего фазового перехода в дисперсно-армированных материалах

Кривченко Ю.В., Кириллов В.Х., Гергега А.Н.

(Научно-производственный центр, Одесса, Украина)

*E-mail:* aherega@gmail.com

Существенная особенность дисперсно-армированных гетерогенных материалов – наличие в их структуре кластеров фибры, которые при критической концентрации образуют связную область перколяционного типа [1], [2], провоцируя структурный фазовый переход, и, следовательно, скачкообразно изменяя свойства образца.

В предложенной модели упрочняющего структурного фазового перехода реализована возможность исследования в компьютерных экспериментах результатов армирования материала смесью фибры и порошка. Для этого сформулирована новая континуальная перколяционная задача, описывающая кластерную систему с квазиточечными и квазилинейными элементами.

Задача решается методом Монте-Карло в кубе размером  $10^6$  условных единиц длины. Элементы, из которых формируется модельный кластер, создаются генератором случайных чисел (ГСЧ) с равномерным распределением. В каждом эксперименте фибра имеет фиксированную длину, и ее положение определяет ГСЧ: он задаёт координату ее начала и выбирает угол поворота относительно ребер куба. Единичные фибры считаются соединёнными, если у них либо есть общая точка, либо расстояние между ними не превышает некоторое заданное, играющее в модели, как и длина фибры, роль управляющего параметра.

Этот феномен обнаруживает интересную особенность перколяционной задачи с необычным составом элементов, а значит, и самой технологии – невозможность обеспечить статистическую устойчивость явления. Потеря стабильности при фиксированном значении максимального угла поворота фибры и ее длины связана с зависимостью интервалов ряда значений параметров задачи, в частности, порога протекания и фрактальной размерности от степени вариативности параметров конкретных реализаций перколяционного кластера, которая, как оказалось, излишне велика. Обсуждение ситуации возможно в рамках представления о гиперслучайных величинах, для которых «статистические оценки в общем случае не являются состоятельными, т.е. при увеличении объема выборки их погрешность не стремится к нулю» [3]. При этом каждый из результатов, полученный при фиксированных значениях управляющих параметров, имеет стандартную для таких задач погрешность, равную, примерно,  $12 \div 15$  процентов.

Идея одновременного использования фибры и порошка для упрочнения материала принадлежит авторам работы [4], которые успешно использовали ее при создании бетона, обладающего повышенной прочностью при растяжении.

## ЛИТЕРАТУРА

- [1] J. Feder. Fractals. New York: Plenum Press, (1988).
- [2] A. Herega. The Selected Models of the Mesostructure of Composites: Percolation, Clusters, and Force Fields. Springer-Verlag, Heidelberg, (2018).
- [3] И.И. Горбань. Гиперслучайные функции и их описание. Известия вузов. Радиоэлектроника 1, 3, (2006).
- [4] А.Г. Вандоловский и др. Технология создания сталефибробетона с повышенной прочностью на растяжение. Сб. трудов Харьковского нац. унив. возд. сил 2(56), 126, (2018).