

УДК 519.6

## **ХАРАКТЕРИСТИКИ СОЕДИНЯЮЩЕГО КЛАСТЕРА: МОДЕЛИРОВАНИЕ 3D ВЕРОЯТНОСТНЫМ КЛЕТОЧНЫМ АВТОМАТОМ**

А.В. Чередниченко, аспирант кафедры математики  
Научный руководитель: Г.А. Казунина, д.т.н., доцент, профессор  
Кузбасский государственный технический университет  
г. Кемерово

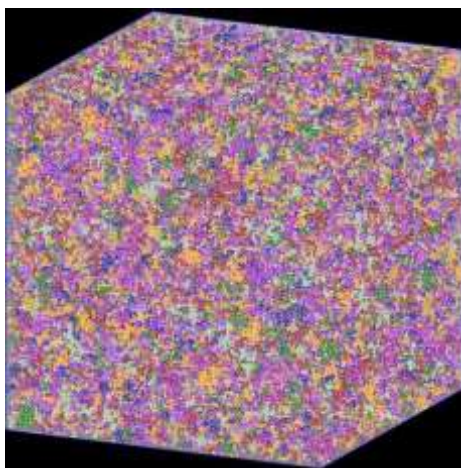
Одной из важных задач физики горных пород является изучение кинетического процесса их разрушения методами импульсной эмиссии (акустической, электромагнитной) [1]. Эти методы несут информацию о кинетике образования повреждений (фиксируют образование новых и рост имеющихся дефектов структуры). Однако информация о пространственном распределении повреждений и их группировке в кластеры отсутствует, что с точки зрения прогнозирования разрушения представляет главный интерес. Развитие информационных технологий дает возможность проведения анализа кластерной структуры повреждений методами компьютерного моделирования. Наличие общих закономерностей на предшествующей разрушению стадии материала [2,3] также говорит в пользу такого подхода. Поскольку стохастический процесс накопления повреждений в твердых материалах на стадии хрупкого разрушения является нелинейным и необратимым, модель вероятностного клеточного автомата подходит для описания данного процесса. Так в работах [4,5] разработана физическая концепция, математическая модель и комплекс программ для одновременного исследования кинетики накопления элементарных повреждений хрупких материалов и образуемой ими кластерной структуры с помощью нового двухмерного вероятностного клеточного автомата. Показана эффективность использования предложенной модели путем согласованного исследования поведения кинетических кривых, временных корреляционных функций, статистик Херста, функций распределения кластеров повреждений по размерам и локальной плотности. Проведенные модельные эксперименты позволили выявить параметры процесса накопления повреждений, характерные для неравновесных систем, склонных к катастрофам.

Однако в действительности развитие повреждений происходит в трехмерной среде, и поэтому требуется дополнительное исследование правомерности применения результатов двумерного моделирования к трехмерным решеткам. В настоящей работе реализовано трехмерное моделирование процесса накопления повреждений.

Работа автомата, как и в работах [4,5] контролируется набором из трех вероятностей: образования нового элементарного повреждения; прорастания периметра кластера повреждений; слияния сблизившихся кластеров. Поведение этих вероятностей определяет сценарий моделирования. В работе пред-

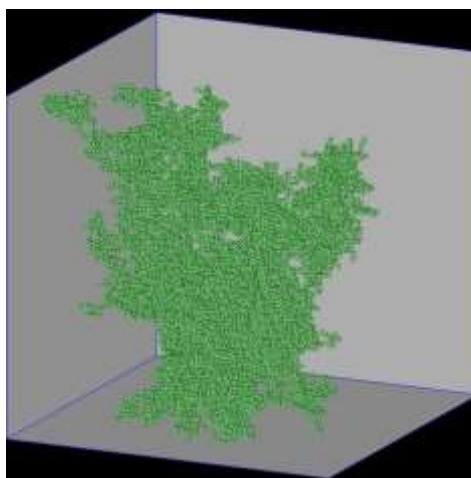
ставлено два сценария моделирования: однородный статический и динамический внутренний сценарии моделирования.

Конфигурация кластерной структуры на решетке на каждой итерации задается числом кластеров, а также характеристиками каждого кластера: масса (число повреждений в кластере), среднеквадратичный радиус. На каждой последующей итерации предыдущая кластерная структура заменяется новой кластерной структурой, происходит автоматическое обновление всех характеристик (кластерная структура эволюционирует). Конечной стадией эволюции кластерной структуры (рис. 1) считается конфигурация, в которой образуется кластер, соединяющий противоположные грани куба (рис. 2–3).



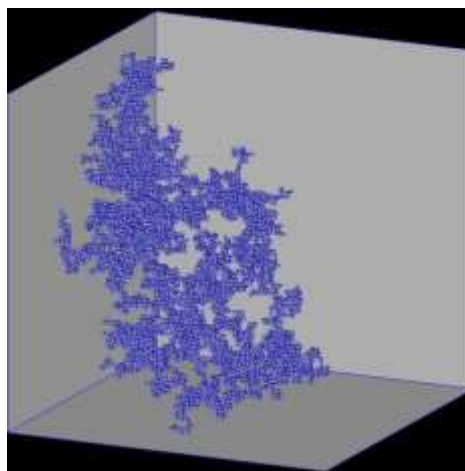
*Рис 1. Кластерная структура на решетке  $100 \times 100 \times 100$ .*

Формирование соединяющего кластера интерпретируется как разрушение системы, а число итераций, необходимых для его образования является временем разрушения. При этом для динамического внутреннего сценария моделирования (рис. 2) соединяющий кластер имеет более рыхлую структуру по сравнению с однородным статическим (рис. 3) сценарием моделирования. Масса соединяющего кластера составляет порядка 30% от суммарной массы всей системы.



*Рис 2. Однородный статический сценарий моделирования:  
вид соединяющего кластера.*

Предельная средняя плотность элементарных повреждений, при которой происходит разрушение системы, составила  $d_{fin} = 0,27 \pm 0,02$  для однородного статического сценария и  $d_{fin} = 0,08 \pm 0,02$  для динамического внутреннего сценария. Это в 1,15 раз (однородный статический сценарий) и 3,9 раза (динамический внутренний сценарий) меньше порога перколяции на кубической решетке, составляющего  $d_{fin} = 0,311$  [6].



*Рис 3. Динамический внутренний сценарий моделирования:  
вид соединяющего кластера.*

#### **Список литературы:**

1. Куксенко, В. С. Диагностика и прогнозирование разрушения крупномасштабных объектов / В. С. Куксенко. // Физика твердого тела . – 2005. – т. 47, вып. 5. – С. 787-792.
2. Ботвина, Л.Р. Разрушение: кинетика, механизмы, общие закономерности.– М.: Наука, 2008.– 334 с.
3. Гиляров, В.Л. Формирование степенных распределений дефектов по размерам в процессе разрушения материалов / В.Л. Гиляров, М.С. Варкентин, В.Е. Корсуков, М.М. Корсукова, В.С. Куксенко // Физика твердого тела. – 2010. – т.52. – вып.7. – с. 1311-1315.
4. Алексеев, Д.В. Моделирование кинетики накопления повреждений вероятностным клеточным автоматом / Д.В. Алексеев, Г.А. Казунина // Физика твердого тела. – 2006. – т.48. – вып.2. – с. 255-261.
5. Алексеев Д.В., Моделирование кинетики накопления элементарных повреждений в нагруженных материалах / Д.В. Алексеев, Г.А. Казунина // Деформация и разрушение материалов . – 2009. – № 4. – с. 7-11.
6. Федер, Е. Фракталы / Е.Федер.// – М: Мир, 1991. –260 с.