

Моделирование локализации сдвигов и перехода геосреды к неустойчивым режимам деформирования методом дискретных элементов

Журкина Д.С. (1), Клишин С.В. (1), Лавриков С.В. (1), Леонов М.Г. (2)

(1) Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт горного дела им. Н.А. Чинакала Сибирского отделения Российской академии наук, Новосибирск, Россия

(2) Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Геологический институт Российской академии наук, Москва, Россия

e-mail: lvk64@mail.ru

С использованием численного метода дискретных элементов рассмотрена задача о сдвиговом деформировании образцов сыпучей среды в стесненных условиях.

Предложены различные алгоритмы формирования начальных образцов (упаковок частиц) кубической формы с заданной относительной плотностью. Показано, что эффективными являются алгоритмы, использующие уравнения движения на основе механики Аристотеля – сила пропорциональна скорости, а не ускорению, как это имеет место в механике Ньютона. Главным является то обстоятельство, что в стационарном состоянии уравнения Аристотеля и уравнения Ньютона дают один и тот же результат – сумма сил и моментов сил, действующих на каждую частицу, равны нулю [1].

Проведена серия численных расчетов по сдвиговому нагружению образцов сыпучей среды при учете на контактах между частицами трения скольжения, сопротивления качению, вязкости. В расчетах варьировались начальная плотность образцов, а также различные краевые условия, обеспечивающие либо мягкое (силовое) нагружение, либо жесткое (кинематическое) нагружение, в том числе с подавлением дилатансии за счет сохранения постоянного объема образца.

Показано, что для всех рассмотренных образцов существуют критические значения сдвиговой деформации. По достижении критической величины сдвига устойчивость деформирования нарушается. В материале формируются изолированные поверхности скольжения, разделяющие его на отдельные блоки. Дальнейшее деформирование сводится к относительному сдвигению этих блоков практически как жестких целых. На диаграмме сдвига переход к неустойчивому режиму деформирования сопровождается выходом на ниспадающую ветвь (разупрочнение). На уровне дискретных элементов (частиц) образца наблюдается перераспределение действующих напряжений и формирование новых силовых цепочек. Анализ кинематики показывает, что имеет место перераспределение скоростей частиц, отнесенных к различным блокам формирующейся блочной структуры, что согласуется с данными лабораторных экспериментов [2], полученными ранее в ИГД СО РАН. Приведены диаграммы сдвигового нагружения и картины распределения скоростей частиц в образце в момент потери устойчивости и формирования блочной структуры.

Полученные результаты могут быть использованы для моделирования неустойчивых режимов деформирования, приводящих к дезинтеграции и разрыхлению крупных геологических объектов. Есть данные, что указанные явления могут играть существенную роль в формировании структуры и реологии горных пород [3].

Расчеты проводились на основе оригинального программного обеспечения, разработанного в ИГД СО РАН, а также с привлечением программного обеспечения Altair EDEM (академическая лицензия).

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 21-17-00008, <https://rscf.ru/project/21-17-00008/>.

1. Klishin S.V., Mikenina O.A. DEM Generation of Particle Packs in the Aristotelian Mechanics // AIP Conference Proceedings 2448 (2021), 020011.

2. Бобряков А.П., Клишин С.В., Косых В.П., Лавриков С.В., Микенина О.А., Ревуженко А.Ф. РІV-методика для определения поля деформаций при выпуске сыпучих материалов // Научные технологии разработки и использования минеральных ресурсов. – 2018. – № 4. – с. 343-347.

3. Леонов М.Г., Кочарян Г.Г., Ревуженко А.Ф., Лавриков С.В. Тектоника разрыхления: геологические данные и физика процесса // Геодинамика и тектонофизика. – 2020. – т. 11. – № 3. – с. 491-521.