

0.1. Журкина Д.С. Численное моделирование задачи о простом сдвиге сыпучей среды методом дискретных элементов

В настоящее время широко используется в механике деформируемого твердого тела и горных пород численный метод дискретных элементов (МДЭ) [1]-[3]. В этом методе макросвойства среды определяются через задание свойств отдельных дискретных частиц и потенциалов взаимодействия между ними, а ее деформирование сводится к относительно движению частиц на основе уравнений движения Ньютона. По сравнению с континуальным подходом механики сплошной среды МДЭ имеет ряд преимуществ. Здесь сравнительно просто моделируются большие деформации, физическая нелинейность, локализация сдвигов и т.д.

Однако метод дискретных элементов имеет один существенный недостаток. При интерпретации результатов численного моделирования остаётся неясным вопрос о том, какие макросвойства среды описывает модель дискретных элементов при задании только формы частиц, их начальной упаковки и потенциалов взаимодействия между ними.

В литературе в последнее время появились публикации, посвященные данной проблеме. Например, в работе [4] МДЭ развивается с позиций описания изотропного упругого тела. Целью настоящей работы является исследование простого сдвига образца сыпучей среды в рамках метода дискретных элементов, установление зависимостей компонент тензоров напряжений и деформаций от величины сдвига.

В рамках МДЭ проведено численное моделирование пространственной задачи о простом сдвиге образца сыпучей среды [5]. Сдвиг осуществляется в плоскости Oxy при циклическом изменении направления сдвига. Вдоль оси Oz учитывается влияние веса. Проведено численное исследование влияния относительной плотности упаковки, формы частиц, коэффициента трения скольжения, коэффициента восстановления скорости на напряженное состояние образца.

В результате показано, что изменение компонент тензора напряжений качественно соответствуют данным лабораторных экспериментов по сдвигу сыпучей среды. Условие соосности тензоров напряжений и деформаций с достаточной точностью выполняется. Циклический сдвиг приводит к уплотнению среды с последующим выходом на стационарный режим, где объем среды зависит только от фазы сдвига внутри одного цикла и не меняется от цикла к циклу. Изменение среднего значения координационного числа коррелирует с изменением относительной плотности упаковки в процессе сдвига. Установлено, что упаковки частиц, созданные с учётом веса частиц, являются неоднородными.

Полученные зависимости осреднённых компонент тензоров напряжений и деформаций могут быть

использованы для построения континуальных математических моделей, соответствующих заданной модели дискретных элементов.

Расчеты проводились с использованием программной системы Altair EDEM программного обеспечения Altair Hyper Works (академическая лицензия).

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

Научный руководитель — д.ф.-м.н. Лавриков С.В.

Список литературы

- [1] Zheng J., Hryciw R.D. An image based clump library for DEM simulations // Granular Matter. 2017. Vol. 19. N. 2. P. 26–41.
- [2] Клишин С.В., Лавриков С.В. Численное моделирование площадного выпуска горной массы в технологии с самообрушением // Научные технологии разработки и использования минеральных ресурсов. 2019. № 5. С. 264–268.
- [3] KLISHIN S.V., LAVRIKOV S.V., REVUZHENKO A.F. Numerical simulation of abutment pressure redistribution during face advance // AIP Conference Proceedings. 2017. Vol. 1909 (020086).
- [4] KLISHIN S.V., LAVRIKOV S.V., MIKENINA O.A., REVUZHENKO A.F. Discrete element method modification for the transition to a linearly elastic body model // IOP Conference Series: Journal of Physics 2018. Vol. 973 (012008).
- [5] ZHURKINA D.S., LAVRIKOV S.V. Problem of simple shear in granular medium: Comparison of DEM modeling results and laboratory testing data // AIP Conference Proceedings. 2021. (in press)