

Моделирование влияния мультифазных включений в толще отвала на устойчивость откосов¹

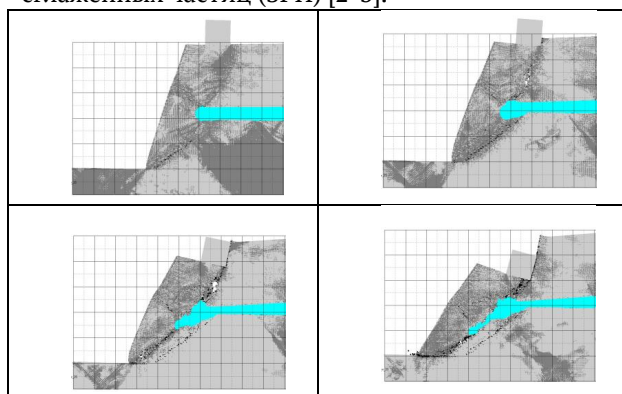
Малинникова О.Н., Трофимов В.А., Шиповский И.Е.

Институт проблем комплексного освоения недр им. академика Н.В. Мельникова РАН, Москва

Численное решение задач механики взаимодействия механизмов горной инженерии с дисперсными геологическими средами в случае присутствия в массивах породы включений жидкой или пульпообразной фазы является важным направлением в математическом моделировании процессов технологии добычи и транспортировки сырья при разработке полезных ископаемых открытым способом.

Отходы рудничного производства, складированные в отвалах, представляют собой малопрочный материал гетерогенной структуры, свойства которого из-за сезонных и дождевых притоков воды могут существенно изменяться, приводя к снижению устойчивости. Размещение тяжелого оборудования или инженерных сооружений на поверхности отвала может привести к масштабным деформациям вплоть до катастрофического обрушения, связанного как со сползанием откоса, так и с провалом в зоне пульпообразного образования [1].

Напряженно-деформированное состояние отвала определялось компьютерным методом сглаженных частиц (SPH) [2-3].



В численном анализе использовалась двумерная модель, включающая области с различными прочностными и фазовыми характеристиками. Рассчитанные результаты показывают структурные сдвиги и пиковые ускорения грунта при техногенных воздействиях. Кроме того, динамический отклик

массива был дополнительно исследован путем анализа сейсмической энергии Гильберта.

Отметим, что при численном моделировании масштабного обрушения на начальном этапе формируется типичная картина сдвижения в виде крупных блоков породы, характерных для инженерных методов расчета устойчивости, в которых рассматривается силовое равновесие отдельных блоков, задаваемых, однако априори. При дальнейшем деформировании происходит хаотичное разрушение блоков на мелкие фрагменты, осыпающиеся вниз по вновь формирующемуся склону.

Использованный метод позволяет установить взаимосвязь между действующими на дневной поверхности нагрузками и деформационно-прочностными свойствами пород массива в его критическом состоянии для конкретного строения отвала и приложенной нагрузки. Тем самым определяются допустимые границы функционирования той или иной технологической схемы горных работ.

Проведенные расчеты позволяют уверенно констатировать тот факт, что наличие пульпообразных включений в массиве отвала существенно снижает его несущую способность вне зависимости от расположения включения, и дают возможность количественно оценить это снижение.

Список литературы:

- [1] Valeriy N. Zakharov, Vitaliy A. Trofimov, Ivan E. Shipovskii, Olga N. Malinnikova Modeling the Influence of Pulp Masses in Dump Massive on the Dynamics of Landslide Zones Development, *Izvestiya Tula State University* (Izvestiya TulGU) Earth sciences, 2020, 1, pp.359-375 .
- [2] I. E. Shipovskii, Simulation for fracture by smooth particle hydrodynamics code // *Scientific Bulletin of National Mining University*, 2015, 1 (145), p. 76-82.
- [3] Vitaliy A. Trofimov, Ivan E. Shipovskii, Olga N. Malinnikova, Wen-Jie Xu, Numerical Approach to Computer Simulation of Landslid Events, *AIP Conference Proceedings of the International Conference on Advanced Materials with Hierarchical Structure for New Technologies and Reliable Structures*, 2019, Tomsk, Russia, p. 020329-1 - 020329-8.

¹ РФФИ (проект № 18-05-00936)