ТЕЗИСЫ ДОКЛАДОВ

INTERNATIONAL WORKSHOP

**«Multiscale Biomechanics and Tribology
of Inorganic and Organic Systems»**

МЕЖДУНАРОДНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ

**«Перспективные материалы с иерархической структурой
для новых технологий и надежных конструкций»**

**VIII ВСЕРОССИЙСКАЯ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКАЯ
КОНФЕРЕНЦИЯ С МЕЖДУНАРОДНЫМ УЧАСТИЕМ,
ПОСВЯЩЕННАЯ 50-ЛЕТИЮ ОСНОВАНИЯ
ИНСТИТУТА ХИМИИ НЕФТИ**

«Добыча, подготовка, транспорт нефти и газа»

DOI: 10.17223/9785946218412/420

КОМБИНИРОВАННЫЙ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЙ ПОДХОД ДЛЯ КОМПЬЮТЕРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ОПОЛЗНЕВЫХ ЯВЛЕНИЙ¹Малинникова О.Н., ¹Трофимов В.А., ¹Шиповский И.Е., ²Wen-Jie Xu,¹*Федеральное государственное бюджетное учреждение науки**Институт проблем комплексного освоения недр**им. академика Н.В. Мельникова Российской академии наук*²*State Key Laboratory of Hydrosience and Hydraulic Engineering, Department of Hydraulic Engineering, Tsinghua University, Beijing, China*

Поведение крупномасштабных горнопородных масс с большими деформациями определяет основу работы и производительность геотехнических сооружений и горных предприятий и должно быть должным образом учтено при их моделировании, анализе и проектировании. Для быстрого принятия решений по предотвращению и минимизации ущерба от опасных оползневых явлений большое значение имеет оперативная оценка их геомеханических параметров. Пример этому недавний оползень на Бурейском водохранилище, произошедший 11 декабря 2018 г., который вызвал полное перекрытие каньонной части, прекратив сток воды между равнинными участками и тем самым создав угрозу подтопления объектов социально-экономической и транспортной инфраструктуры. В этой связи анализ устойчивости склонов неизменно актуален для оценки инженерно-геологических опасностей. На сегодняшний день наиболее популярным подходом, применяемым в прогнозе устойчивости склонов, является метод предельного равновесия в сочетании с современными методами компьютерного моделирования. Так метод сглаженных частиц (SPH) положительно зарекомендовал себя при решении краевой задачи с большими деформациями и проявлениями динамического разрушения бортов карьера [1,2], рассматриваемых как гомогенной сплошной материал. Метод дискретных элементов (DEM) [3] используется для получения нелинейного отклика материала от малой деформации до конечной деформации и дает преимущество в расчете сил взаимодействия между отдельными блоками массива склона без предположений о гомогенности материала. В настоящее время известно, что механизмы иерархического взаимодействия многоуровневых геомеханических процессов в значительной степени определяют нелинейное поведение сложных природных систем при различных внешних воздействиях. В работе представлена новая схема иерархической связи в интеграции методов SPH и DEM для многомасштабного моделирования больших деформаций в анализе устойчивости склонов. Предложенная структура связывания не только наследует преимущества SPH в решении масштабных инженерных задач деформации по сравнению с использованием сеточных методов, где затруднительно избежать искажения сетки, но также позволяет при помощи DEM моделирования связать информацию о масштабе зерна и ключевые микромеханические механизмы с макроскопическим описанием гранулированных геосред на всех уровнях деформации, от начальной стадии малых деформаций на пути к режиму больших деформаций до разрушения.

Для демонстрации возможностей, новой платформы SPH-DEM в данной работе моделирование разрушения борта карьера выполнено для условий плоской деформации. Имитируется полная выемка массивного блока горной породы за короткий отрезок времени. Используется модель упруго - пластической деформации, параметры которой зависят от показателя накопления повреждений, определяемого по аппроксимации критерия Кулона - Мора, известной как соотношение Друккера - Прагера. Кроме того, применяемый численный метод сглаженных частиц реализует двойственную модель представления повреждаемости геосреды, которая отражает разрыхление горной породы при выполнении заданного критерия разрушения и расхождение частиц материала при потере действия сил взаимосвязи, определяемых алгоритмом численного метода. Эти качества позволяют достаточно реалистично моделировать процессы развития деформаций и разрушения.

На рисунке 1 представлены расчетные картины разрушения массива, подработанного выемкой крупного блока, представляющие динамическое сдвижение, разрушение и фрагментацию горной породы под действием собственного веса всей нависающей толщи породы по высоте.

Рис. 1. Рассчитанная кинограмма сдвижения породы склона карьера

Это динамическое сдвижение заканчивается обрушением породы на дно карьера. Процесс последовательной фрагментации, формирования крупных блоков и их динамического сдвижения объясняет системное проявление геодинамических явлений, проявляющихся в виде кластеров на сейсмограммах полученных в размещенных в толще массива сейсмодатчиках.

Расчеты позволяют оценить последствия обрушения и получить рекомендации по проведению мероприятий для укрепления склона в зависимости от параметров породы окружающего массива.

1. Трофимов В.А., Шиповский И.Е. Компьютерное моделирование динамического разрушения бортов карьера // Материалы Пятой международной конференции «Триггерные эффекты в геосистемах», Москва, 2019.
2. Малинникова О.Н., Трофимов В.А., Шиповский И.Е. Метод сглаженных частиц в моделировании разрушения и обрушения кровли выработки // Материалы Международной научно-практической конференции «Подземная угледобыча XXI век». 2018.Т. 2 С. 464-475.
3. Wen-Jie Xu, Guang-Yu Liu, Daniel N. Wilke, Trofimov V. A. 3D random Voronoi models for simulation of rock fractures based on GPU-accelerated discrete element method // Материалы «1 Международной научной конференция «Проблемы геомеханики сильно сжатых горных пород и массивов». Владивосток, 2019.