

Рисунок 2. Значения вязкости разрушения K_c для образцов различных горных пород

Исследования показали перспективность использования метода микро- и наноиндентирования для оценки прочностных и упругих характеристик горных пород, а также возможность определения вязкости разрушения, что имеет принципиальное значение при решении задач разрушения горных пород. Изучение неоднородности образцов горных пород на микроуровне возможно с использованием ультразвукового метода по скорости продольных волн и метода микро и наноиндентирования как оценка вариации прочностных и упругих параметров отдельных минералов и их границ.

1. О.П. Якобашвили, Сейсмические методы оценки состояния массивов горных пород (ИПКОН РАН, Москва, 1992).
2. X. Chen, Z Xu, Bull Eng Geol Environ 76, pp. 661–669 (2017).
3. O.O Blake, D.R. Faulkner, Rock Mech Rock Eng 53, pp. 4001–4013 (2020).
4. Ю.И. Головин, Физика твердого тела, 63, сс. 4-42 (2021).
5. A.C. Fischer-Cripps Nanoindentation (Springer New York, London, 2011).
6. Z.Ma, P.G. Ranjith, Z. Chengpeng, Geomech. Geophys. Geo-energ. Geo-resour., 60, pp.1-27 (2020).
7. Л.В. Шаумян Природа физико-механических свойств массивов горных пород. (МГУ, Москва, 1988).
8. С.Д. Викторов, Ю.И. Головин, А.Н. Кочанов, А.И. Тюрин, А.В. Шуклинов, И.А. Шуварин, Т.С. Пирожкова, ФТПРПИ, 4, сс. 46–54 (2014).
9. Ю.И. Головин, А.И. Тюрин, С.Д. Викторов, А.Н. Кочанов, Т.С. Пирожкова, Изв.РАН.сер.физ., 81, сс.390-394 (2018).

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ СТРУКТУРНЫХ ОБРУШЕНИЙ УСТУПОВ КАРЬЕРА ПО ДАННЫМ КОМБИНИРОВАННОЙ СЪЕМКИ ТРЕЩИНОВАТОСТИ

И.А. Гузеев

УФ АО «ВНИМИ»

Email: guzeevia83@gmail.com

При проектировании скальных карьеров и в процессе их эксплуатации важно прогнозировать возможные структурные обрушения уступов и определять их вероятность. Для этого используют данные о направлениях трещин, так как устойчивость откосов скальных уступов, по общепринятым допущениям, может быть нарушена только в результате структурных обрушений. Обрушение может произойти по нескольким механизмам: сдвиг по плоскости, сдвиг клиновидного блока и опрокидывание блоков [1].

Для получения наиболее точных результатов расчетов устойчивости, необходимо производить детальную съемку трещиноватости и выявлять пространственные закономерности в направлении трещин, то есть определять параметры систем трещин.

Для этого может использоваться комбинированный подход, сочетающий традиционное и трехмерное (цифровое) картирование уступов.

Традиционный метод картирования основан на полевом измерении направлений трещин с помощью горного компаса или электронного трещиномера непосредственно на карьере. Этот метод позволяет изучать не только направления трещин, но и другие характеристики трещин, такие как интенсивность трещиноватости, выветрелость, обводненность, состояние стенок трещин, заполнитель трещин. Все эти факторы также необходимо учитывать при оценке устойчивости. Однако традиционный метод картирования обладает низкой производительностью и неэффективен для сбора данных с труднодоступных мест, высота съемки ограничена двумя метрами.

Процедура трехмерного (цифрового) картирования откосов предполагает конструирование цифровой копии участка съемки. Для этого используются технологии LiDAR сканирования или фотограмметрической съёмки.

Для фотограмметрической обработки обнажений используются привязанные в пространстве снимки и, опционально, результаты LiDAR сканирования. Наиболее производительным и безопасным методом сбора снимков является съемка с квадрокоптера. Для достижения необходимой точности и детализации моделей, фотографии должны быть разрешением не менее 2 см на пиксель. Построение полетных заданий для беспилотника на высоте 25-40 метров обеспечивает такое качество снимков. Выполнение съемки на 1 квадратном километре обнажений с такими параметрами полета занимает один день полевых работ.

Другой подход – сканирование с применением LiDAR датчика, интегрированного в смартфон (например, Apple iPhone линейки Pro). Оно осуществляется на точках традиционного картирования откосов, а получаемые модели обладают небольшим размером, достигая первых десятков метров в ширину и 2-3 метров в высоту. Такие модели характеризуются более высокой детальностью, чем модели полученные по результатам съемки с дрона, благодаря небольшому расстоянию между объектом съемки и LiDAR датчиком с камерой.

Оптимальным решением является комбинирование методов для получения максимального количества данных и обеспечения наилучшей точности. Например, по результатам всего двух дней полевых работ, при умеренной детальности обработки моделей можно собрать порядка 25 000 измерений направлений трещин. Более того полученные модели могут использоваться для оконтуривания границ литотипов, тектонических нарушений, осыпей, участков дренирования подземных вод, и других геомеханических особенностей массива.



Рис. 1 – Выделение ориентации трещин на трехмерных моделях

После сбора данных о направлениях трещиноватости, проводится разделение месторождений на структурные домены и определение параметров систем трещин и их разброса, что становится основой для последующего расчета устойчивости по специальным схемам [2]. Для расчета вероятности обрушений откосов на основе собранных данных проводится кинематический анализ с помощью программы Digger Slope, которая позволяет производить массовые расчеты устойчивости по всему карьере одновременно. Дополнительное преимущество программы Digger Slope - возможность объединения результатов расчета в сектора проектирования. В этих секторах определяются оптимальный угол откоса уступа и ширина бермы.

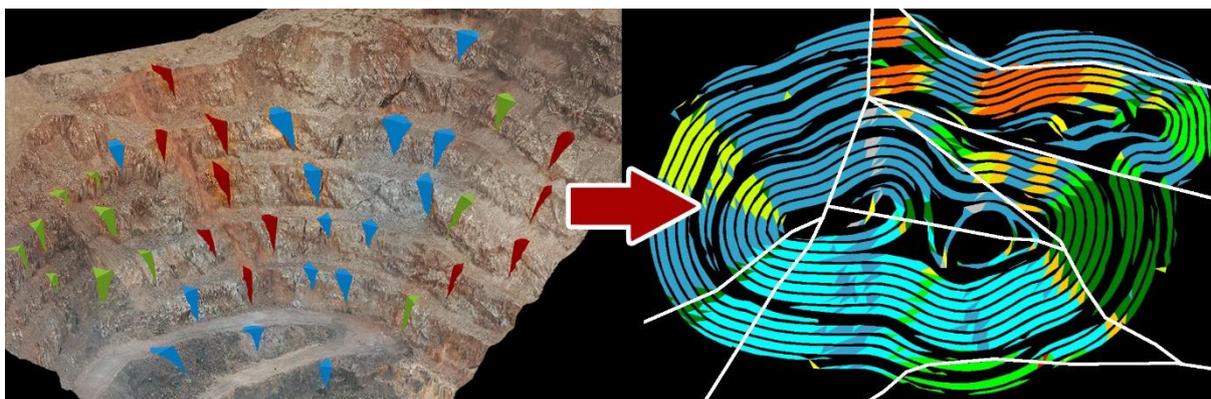


Рис. 2 – Визуализация клиновидных обрушений и районирование по их вероятности

Результаты анализа, проведенного для фактического контура карьера, позволяют спрогнозировать возможные обрушения при развитии горных работ, а также определить объемы этих обрушений. На основе полученных результатов можно подобрать такие параметры откосов, чтобы вероятность и параметры обрушений были приемлемыми.

Применение сочетания описанных методов позволяет подобрать оптимальный угол уступа, ширину бермы и генеральный угол борта, что позволяет снизить объемы вскрыши и обеспечить допустимую вероятность возможных обрушений.

1. Руководство по проектированию бортов карьера. Guidelines for open pit slope design: научное издание / под ред.: Д. Рид, П. Стейси; пер. с англ. А. С. Бентхен; науч. ред. пер. А. Б. Макаров. Екатеринбург: Правовед, 2015. 528 с.
2. Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности «Правила обеспечения устойчивости бортов и уступов карьеров, разрезов и откосов отвалов». М., 2020.

О НЕОБХОДИМОСТИ ЭКСПЛИЦИТНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ РАЗРУШЕНИЯ ГОРНЫХ ПОРОД В ГЕОМЕХАНИКЕ НА ПРАКТИЧЕСКИХ ПРИМЕРАХ

Б.Т. Ильясов

УФ АО «ВНИМИ»

Email: bt.ilyasov@gmail.com

Известно, что распространенными на сегодня численными методами механики, такими как метод конечных элементов или метод конечных разностей, трещинообразование и разрушение материала не моделируется эксплицитно (т.е. в явном виде), и может учитываться только неявно, посредством изменения свойств материала. В то же время существуют методы дискретных элементов и комбинированные методы, которые эти процессы воспроизводят эксплицитно.