

УДК 624. 131. 438

*В.А. Бабелло*

**ОБ ОСОБЕННОСТЯХ ПРИМЕНЕНИЯ МЕТОДА  
ВЕРТИКАЛЬНОГО ОБРУШЕНИЯ ПРИЗМ  
ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПРОЧНОСТНЫХ СВОЙСТВ ПОРОД**

Эффективная и безопасная разработка месторождений полезных ископаемых открытым способом должна основываться на полном объеме объективной информации о физико-механических свойствах пород, слагающих борта карьеров и разрезов. Однако информация, получаемая на стадии разведки месторождения, как правило, не может обеспечить выполнение этого требования. Требуется дополнительное исследование упомянутых свойств в процессе производства горных работ. Особое внимание при этом, должно быть уделено изучению и прогнозу изменения прочностных свойств пород в лабораторных и полевых условиях. Одним из натуральных (полевых) методов определения угла внутреннего трения и сцепления породы является обрушение призм, вырезанных с трех сторон и примыкающих к стенке выработки.

К числу причин, заставивших обратиться к этому методу следует отнести возможность в натуральных условиях оперировать с образцами, размеры которых намного превосходят размеры образцов, испытываемых в лабораторных условиях и вследствие этого являющихся более типичными представителями испытываемой породы с точки зрения ее структурно-текстурных особенностей, трещиноватости и, что особенно важно, наличия крупных включений.

Однако, как показывает практика наших исследований и исследования других авторов [1], до 60 % испытаний не могут быть использованы в расчетах. Это, отчасти, объясняется тем, что в силу неоднородности и в связи с вероятностью попадания в возникающие поверхности скольжения двух призм разного количества обломочного материала обрушение часто происходит по поверхности, далекой от идеальной формы линии скольжения. Отрывы и вывалы кусков горной породы в свою очередь затрудняют численное описание поверхности скольжения. Для анализа сложившейся ситуации и с целью выработки рекомендаций по исключению такого большого коли-

чества брака в натуральных испытаниях, была предпринята попытка математического моделирования. В основу рассматриваемой методики было положено условие о том, что верхняя часть поверхности скольжения, образующаяся в результате воздействия внешней нагрузки на штамп, проходила бы через край штампа, примыкающий к стенке выработки, и имела бы относительно ровную поверхность.

В качестве исходной математической модели была выбрана программа «Slope/W», разработанная канадским предприятием GEOSLOPE International, провинция Alberta, Calgary.

Процесс моделирования состоял из следующих этапов.

1 этап:

- Предварительный выбор характеристик прочности пород; назначение размеров уступа, штампа и точки приложения нагрузки.

- Нахождение величины нагрузки и соответствующих координат поверхности скольжения, проходящей через крайнюю точку штампа при  $K_3 = 1$ .

2 этап:

- Введение в расчет (обратный) найденных координат поверхности скольжения (по 1 этапу численного моделирования) при задании оптимального интервала эксцентриситета приложенной нагрузки.

- Нахождение характеристик прочности породы обратным расчетом.

3 этап:

- Оценка отклонений от полученной численными методами поверхности скольжения (в сторону открытого края уступа и наоборот).

4 этап:

- Численное описание поверхностей скольжения, полученных экспериментально.

- Нахождение расчетом значений  $\varphi_{\text{эксп}}$  и  $C_{\text{эксп}}$ , их средних значений; определение среднестатистического положения экспериментальной поверхности скольжения.

5 этап:

- Сравнение результатов численного моделирования и натурного эксперимента по координатам поверхностей скольжения.

- Оценка полученных результатов.

Для оценки точности метода вертикального обрушения призм, в смоделированную идеальную поверхность скольжения вводились искусственные отклонения от нее, как в сторону края уступа, так и в противоположную и выполнялся соответствующий расчет. Результаты моделирования показали необходимость точного определения координат поверхности скольжения, и, особенно, в верхней части уступа. Установлено, что при большой неравномерности поверхности скольжения, расчеты следует выполнять по двумерным разрезам, построенным по центральной линии штампа и по его краевым линиям. Это позволило определить не только среднее значение прочностных характеристик, но и их разброс – вариацию.

Моделирование различных ситуаций показало, что если поверхность скольжения имеет участки с обратным наклоном поверхности, т.е. вывалы, результаты таких испытаний также могут быть включены в расчеты с соответствующей корректировкой. Так, координаты таких точек должны быть заменены значениями, найденными путем линейной или нелинейной интерполяции двух соседних точек. Смещение в сторону увеличения расстояния от края откоса, в целом уменьшает ошибку расчета.

Дальнейшая часть эксперимента по моделированию процессов, происходящих при обрушении призм, проводилась с использованием метода конечных элементов. Была реализована модель упругоидеальнопластического поведения горных пород с критерием прочности Кулона-Мора. Расчетная область для исследования напряженно-деформированного состояния призмы и окружающего массива была представлена системой из 858 конечных треугольных элементов размером 0,05\*0,05 м. В расчетах принимались три вида произвольно заданных перемещений нагружен-

ной поверхности призмы. Полученная информация

позволила построить эпюры вертикальных реактивных давлений под нагрузочным штампом, определить величины и направления главных напряжений в каждом элементе, а также смещения узлов сетки расчетной области.

Степень приближения напряженного состояния пород исследуемой области к предельному оценивалась следующим образом:

- в каждом элементе находится соотношение главных напряжений  $\sigma_3/\sigma_1$  (расчетные значения);

- там же находилось соотношение  $(\sigma_3/\sigma_1)_{пред.} = 1 - (2c \cdot \cos \varphi) / (1 - \sin \varphi) \sigma_1$ ;

- производилась оценка степени приближения напряженного состояния области к предельному путем сопоставления вышеупомянутых соотношений главных напряжений в каждом элементе.

Исходя из полученной оценки выделялись зоны, соответствующие различному состоянию массива пород. Так, ограничивая плавной линией определенную область элементов были получены размеры и контуры призмы обрушения и, соответственно, поверхности скольжения. Следующим этапом вычислений было получение критической (разрушающей) нагрузки на штамп и расстояния до линии ее действия. Это, в свою очередь позволило определить расчетные эксцентриситеты приложения нагрузки.

Выводы

- Напряженное состояние, возникающее как в зоне поверхности скольжения так и под подошвой штампа, не учитывается традиционной расчетной схемой.

- Размеры и очертания призмы обрушения зависят от характера смещений штампа и соответствующих реактивных давлений по его подошве. Несмотря на то, что площадь эпюры смещений штампа во всех трех случаях была одинакова, размеры и форма призмы обрушения оказались различными.

- Введение корректив в традиционную расчетную схему позволяет получить достаточно удовлетворительные результаты при определении характеристик прочности горных пород.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бондарик Г.К. Методы определения прочности глинистых пород. - М.: Недра, 1974. - 216 с.

### Коротко об авторах

Бабелло В.А. – кандидат технических наук, доцент Читинского государственного университета.