

*Молдошев Р.А.***АНАЛИЗ НАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ ПОРОДНОГО МАССИВА ВОКРУГ  
ВЫРАБОТОК СЛОЖНОЙ КОНФИГУРАЦИИ***R.A. Moldoshev***STRESS ANALYSIS OF ROCK MASS AROUND OPENINGS COMPLEX  
CONFIGURATION**

УДК: 517.895

*В данной статье представлены результаты решения упруго-пластической задачи вокруг выработок сложной конфигурации..*

*This article presents the results of the solution of elastic-plastic problem around the workings of a complex configuration.*

Развитие информационных технологий в настоящее время ставит новые требования перед традиционными, вполне сформировавшимися областями знаний, одной из которых является геомеханика и освоение недр. При проектировании объектов разработки месторождения полезных ископаемых не полный учет основных влияющих факторов на устойчивость выработок, может привести в процессе эксплуатации к обрушениям объектов, нанесая значительный ущерб горному производству. Одним из весомых факторов эффективного освоения и эксплуатации месторождения полезных ископаемых является исследование геомеханических процессов (деформирования, перераспределения напряжений и разрушения) породных массивов, сопровождаемых горными работами. В процессе проведения горно-технических работ, нарушается естественное напряженно-деформированное состояние породного массива, вблизи выработок различного назначения появляются зоны неупругих деформаций, связанные с дилатансией (необратимым увеличением объема) и разупрочнением (снижением сопротивляемости), в значительной мере определяющие характер изменения компонентов напряжения и деформаций.

В процессе исследования на основе метода конечных элементов нами разработаны алгоритмы и программы для ЭВМ. Разработанные процедуры и программы позволяют решать с помощью персональных современных компьютеров широкий класс практических геомеханических задач, в которых требуется определять напряженно-деформированное состояние породного массива, ослабленного выработками. Компоненты естественного поля напряжений представляются в виде зависящих от геомеханических структур месторождения, и в программе учитываются с помощью разработанных соотношений. При этом граничные условия могут быть заданы в

виде нулевых или ненулевых узловых сил или перемещений (или же в виде смешанных условий). Программы обеспечивают приложение заданных узловых сил и перемещений в заданное число шагов нагружения. Например, если число шагов задано 5, то сначала будет принята заданная сила  $P/5$  и проведено упруго - пластическое решение по изложенной процедуре, затем будет принята сила  $2P/5$  и вновь проведено решение и т.д. Наконец, сила будет равна полному значению. Результат решения не зависит от числа шагов нагружения, либо нагрузка будет приложена сразу полностью в один шаг, либо в несколько шагов. Автоматически учитываются массовые силы тяжести элементов. Введенный объемный вес умножается на площадь элемента, и полученный вес элемента, поровну делится между его тремя узлами. Неоднородность массива учитывается по моделям, путем введения различных прочностных и деформационных характеристик (модуль упругости, коэффициент Пуассона, плотность, сцепление и угол внутреннего трения). Поверхность ослабления и нарушения в массиве имитируются слоями элементов соответствующими пониженными прочностными свойствами.

Рассматриваем горизонтальное сечение участка сопряжения глубокого вертикального шахтного ствола с камерой при различной конфигурации ее сечения: (а) прямоугольной (б) закругленной. Диаметр ствола 8 м, ширина и длина камеры 3 м. Крепь жесткая, имеет постоянную толщину 50 см.

Вследствие симметрии крепи относительно одной из осей в расчетной схеме рассматривались лишь половина области массива и крепи, которая разбивалась на треугольные конечные элементы. Массив принимался невесомым, а нагрузка собственного веса пород ( $A \cdot \gamma H$ ) на отметке расположения оси выработки прикладывалась на внешних границах области по направлению длинной оси поперечного сечения. По направлению короткой оси принималось закрепление. Рассмотрено два варианта нагружения: (а)  $\lambda \gamma H_1 = 10$  МПа и (б)  $\lambda \gamma H_2 = 30$  МПа, где  $\lambda = \nu / (1 - \nu)$  - коэффициент бокового распора.

Для всех вариантов приняты следующие деформационные и прочностные свойства массива и крепи:

$$E_m = 610^3 \text{ МПа}, \nu_m = 0.2, C_m = 3.43 \text{ МПа}, \phi_m = 30^\circ$$

$$E_k = 2510^3 \text{ МПа}, \nu_k = 0.2, C_k = 10^3 \text{ МПа}, \phi_k = 30^\circ$$

Для удобства построения эпюры нагрузок на иволинейном участке крепи составлена подпрограмма для перерасчета от главных напряжений в радиальные  $\sigma_r$  (радиальные нагрузки  $P$ ), касательные (касательные нагрузки  $Q$ ) и для определения нормальных напряжений в крепи  $\sigma_\theta$ .

На рисунках 1 и 2 представлены результаты расчета относительных нормальных ( $P/\lambda\gamma H$ ), касательных ( $Q/P/\lambda\gamma H$ ) нагрузок (напряжений) и относительных нормальных напряжений в крепи ( $\sigma_\theta/\lambda\gamma H$ ). Отметим, что зоны пластических деформаций в варианте (а) и близки.

Из анализа результатов вариантов (а) и (б) следует, что при росте напряженного состояния срыва (при увеличении глубины) увеличиваются зона неупругих деформаций и нагрузка на крепь и напряжение в крепи. Сопоставление результатов расчета этих двух вариантов показывает, что нагрузки на крепь и напряжение в крепи в стволе, за исключением зоны сопряжения, почти совпадают. В зоне сопряжения крепи ствола с камерой возникают уменьшение нормальных и касательных нагрузок и их увеличение на крепь камеры. При этом концентрация нормальных напряжений ( $\sigma_r/\lambda\gamma H$ ) в варианте (а) примерно в 1.3 раза больше, чем в варианте (б). Сопоставление напряжения в крепи в зоне сопряжения показывает, что в этих вариантах растягивающие напряжения практически не отличаются, хотя в варианте (а) зона растягивающих напряжений в крепи существенно больше.

Анализ результатов варианта 1 и 2 позволяют отметить следующие:

- Зоны неупругих деформаций, возникающих вокруг сопряжения крепи ствола с приствольной ка-

мерой показывает, что для рассматриваемых условий выработки не могут рассматриваться без крепи;

- При полном сцеплении крепи с массивом очертание крепи существенного влияния не оказывает.

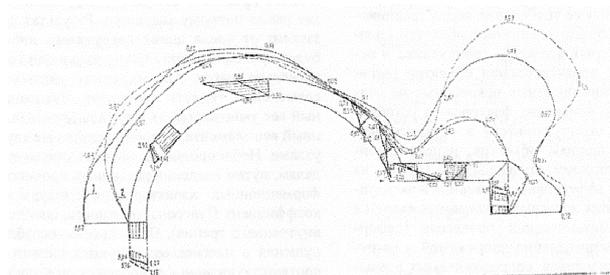


Рис. 1 Эпюры контактных нагрузок и напряжений в крепи: 1 - нормальных; 2 - касательных

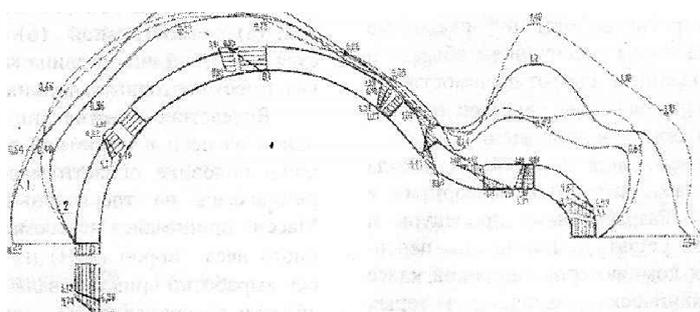


Рис. 2 Эпюры контактных нагрузок и напряжений в крепи: 1 - нормальных; 2 - касательных

#### Литература:

1. Абдылдаев Э.К. Метод конечных элементов при решении прикладных задач. - Алматы.: Полиграфия-сервис, 2011, -111 с.

Рецензент: д.т.н., профессор Абдылдаев Э.К.