

УДК 622.831:553.013

Э.К.Абдылдаев, М.А.Эркинбаев, О.Ф.Сөзхсү

ГЕОМЕХАНИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ И КРИТЕРИЙ УСТОЙЧИВОСТИ ОБНАЖЕНИЙ ПОРОДНОГО МАССИВА

Описаны результаты исследований по разработке геомеханических моделей породного массива и выделены критерии оценок устойчивости обнажения при наличии сложного комплекса горно-геологических условий.

Основным моментом при решении практических задач горной геомеханики является выбор моделей, адекватно отражающих механические и физические процессы, происходящие в массиве пород [1-6]. В данной работе получены геомеханические модели породного массива и критерий устойчивости обнажения при наличии сложного комплекса горно-геологических и горнотехнических условий месторождения.

Породный массив до ведения в нем горных работ находится в естественном напряжённом состоянии, определяемом соотношениями

$$\begin{aligned}\delta_{ij}^e &= G_{ij}(x, y, z, P, T, \Gamma, \Phi); \\ \varepsilon_{ij}^e &= F_{ij}(x, y, z, P, T, \Gamma, \Phi);\end{aligned}\quad (1)$$

где δ_{ij}^e , ε_{ij}^e – компоненты тензоров напряжений и деформаций; индексы i, j принимают в трехмерной системе координат значения x, y, z или $1, 2, 3$ во всех возможных комбинациях; x, y, z – пространственные координаты точек массива; P и T – гравитационные тектонические силы; Γ – геолого-структурные факторы и Φ – физико-механические свойства пород.

После образования горных выработок напряженно-деформированное состояние в любой точке массива можно представить в виде

$$\begin{aligned}\delta_{ij} &= \delta_{ij}^e + \delta_{ij}^d; \\ \varepsilon_{ij} &= \varepsilon_{ij}^e + \varepsilon_{ij}^d;\end{aligned}\quad (2)$$

где δ_{ij}^d , ε_{ij}^d – дополнительные компоненты тензоров, обусловленные проведением выработки.

Результаты натурных исследований показывают, что в большинстве случаев горизонтальные компоненты поля естественных напряжений в горно-складчатых регионах по величине больше, чем вертикальные. По нашей схеме [7] эта компонента состоит из трех составляющих: $\delta_{xx}^e = \delta_p + \delta_o + \delta_T$ (δ_p – часть, обусловленная весом горных пород; δ_o – остаточные магматогенные и сохранившиеся после запредельного деформирования напряжения; δ_T – составляющая напряжений, формирующаяся под влиянием тектонических процессов).

Вертикальная компонента естественного поля напряжений (2) определяется по формуле

$$\delta_{yy} = \int_0^H \gamma_n(y) dy, \quad (3)$$

где γ_n – удельный вес пород n -го элемента, изменяющийся с глубиной их залегания H .

Компоненты дополнительных напряжений находятся решением соответствующих граничных задач для заданной модели сред.

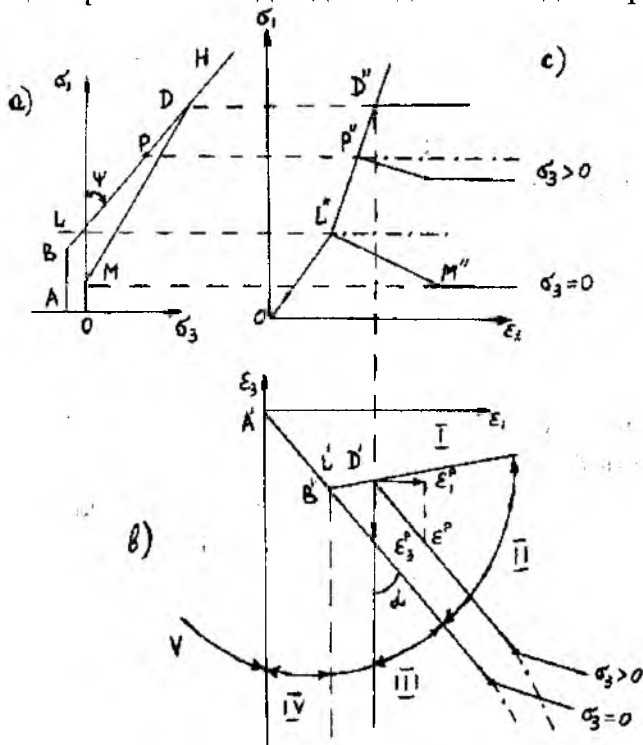


Рис.1. Диаграммы при различных боковых давлениях: а - зависимость δ_1 (δ_3);
 в - зависимость ϵ_1 (ϵ_3);
 с - зависимость δ_1 (ϵ_1).
 ассоциированному закону течения.

Для идеально-пластической среды (штрих-пунктирные линии рис.1с) в зоне 2 условие предельного состояния определяется линией L , L' , а для разупрочняющейся среды сопротивляемость снижается от исходной величины по линейному закону (рис.1а). Значения напряжений в этой зоне определяются использованием семейств линейаризованных графиков зависимости $\delta_3 = f(\epsilon_1, \epsilon_3)$ $\delta_1 = g(\epsilon_1, \delta_3)$.

Если деформации элемента среды характеризуются точкой в зоне 3, 4, то элемент считаем разорванным в направлении δ_3 и $\delta_3=0$. Напряжения δ_1 определяются графиком одноосновного сжатия (в зоне III) или $\delta_1 = E\epsilon_1$ (E – модуль упругости) в зоне IV. В зоне V элемент считаем разорванным в обоих направлениях и $\delta_1 = \delta_3 = 0$. При этом главные напряжения и деформации всюду предполагаются соосными.

На рис.2 приведен комплекс графиков, характеризующих модель упруго-пластичной упрочняющейся среды. Уравнение кривой (рис.2а) можно представить в виде:

$$\tau = \frac{\rho \cdot C_T \cdot \tau_{np} \cdot A}{\tau_{np} + \rho C_T A}, \quad (4)$$

где C_T – модуль сдвига, A – постоянный экспериментальный параметр.

На рис.2в в осях $2\tau - \delta_n$ изображены введенные Тацуока [8] «равно ρ – линии», для рассматриваемого нами случая. Самая верхняя линия OA идентична линии предельной прочности, другие же линии – промежуточным поверхностям текучести.

На рис.1 представлен комплекс графиков, характеризующих свойства рассматриваемых нами моделей упруго-пластической разрыхляющейся среды и среды с раз упорядочением с обобщенным (на область растяжения) критерием прочности Кулона. Запредельные диаграммы $\delta_{ij} - \epsilon_{ij}$ для этих моделей аппроксимируются кусочно-линейными функциями. Здесь можно выделить следующие характерные зоны. В зоне I среда считается упругой.

В зоне II возникают пластические деформации и разрыхление; соответствующие компоненты связаны соотношением $\epsilon_3^p = -\lambda \epsilon_1^p$, где $\lambda = \text{ctg}\varphi$; ψ - зависит от свойств среды. При параметре $\lambda=1$ объем элемента в ходе пластического деформирования будет постоянным. Если $\lambda > 1$ пластическое течение будет характеризоваться разрыхлением. В частном случае, при $\lambda = (1 + \sin\varphi) / (1 - \sin\varphi)$ (φ - угол трения), предлагаемая модель соответствует

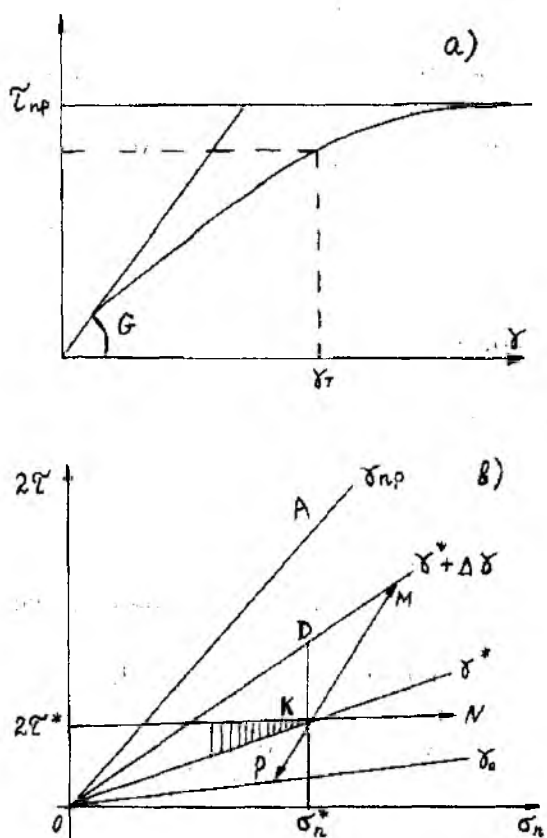


Рис.2. Графики зависимостей: а - $\tau(\gamma)$ и б - $2\tau(\delta_n)$

критерия устойчивости обнажений породного массива. Для нахождения коэффициента запаса устойчивости в ходе решения задачи строятся изолинии:

$$\omega = \tau_\beta - \tau_\beta; \tag{5}$$

где индекс β означает угол между нормалью n к площадке и направлением напряжения δ_i ; τ_β^n - предельные касательные напряжения на площадке, определенные по паспорту прочности; τ_β - расчетные значения.

Затем на изолинии минимальным значением ω , определяем коэффициент устойчивости:

$$k = \frac{\sum_{i=1}^m \{ \text{tg} \varphi_i [\delta_{li} (1 + \sin \varphi_i) + \delta_{zi} (1 - \sin \varphi_i)] + 2 C_i \}}{\sum_{i=1}^m (\delta_{li} - \delta_{zi}) \cos \varphi_i} \tag{6}$$

где m - количество элементов, через которые проходит линия с минимальным значением ω ; C_i , φ_i - расчетные характеристики сцепления угла внутреннего трения; i - разновидности пород ($C_i = C'_i/k'$, $\text{tg} \varphi_i$ - нормативный заранее вводимый коэффициент запаса).

Считается, что если в (6) $k > 1$, то состояние равновесия устойчиво, в противоположных случаях ($k \leq 1$) - неустойчиво.

Сложность конкретных задач горного производства и современных математических методов приводит к необходимости использования ЭВМ, логическим завершением чего является разработка пакета прикладных программ. Нами на основе вышеиз-

Здесь можно выделить следующие характерные зоны. Возьмем точку K на линии ρ^* . Из этой точки можно передвигаться в любом направлении, задавая вектору напряжени приращения, исключая заштрихованную зону, где уменьшение сдвигового напряжения вызывает увеличение сдвиговой деформации. При этом путь вектора напряжения KN вызывает только деформации уплотнения. Для векторов, идущих вверх из места промежуточной текучести, например KM , происходят упругие и пластические деформации одновременно с расширением зоны текучести. А для векторов, направленных книзу, например, KP , происходит только деформация упругого восстановления.

Изложенные модели сред реализованы нами на основе метода конечных элементов; учет запредельных характеристик достигается методом начальных напряжений.

Выделенные на моделях зоны (полного разрушения, разупрочнения предельного состояния и упругости) используются нами, кроме определения напряженно-деформированного состояния, в качестве

ложенной методологии разработана программа для ЭВМ, общий алгоритм которой имеет следующую структуру:

- автоматическая дискретизация рассматриваемой области массива в методе конечных элементов и формирование исходных данных, граничных условий с учетом (1);
- решение практических задач геомеханики с учетом (2–4) и последовательности этапа обработки полезных ископаемых, в деформационном варианте теории пластичности и в варианте теории пластического течения;
- определение коэффициента запаса устойчивости прибортового массива или междукамерных и междуэтажных целиков (5), (6);
- автоматическая обработка и изображение результатов исследований на графопостроителе.

ЛИТЕРАТУРА

1. Шемякин Е.И. Новые задачи механики горного массива. Будущее горной науки. –М.: Наука, 1989. –С.34-45.
2. Баклашов И.В. Деформирование и разрушение породных массивов. –М.: Недра, 1988. –271с.
3. Петухов Н.М., Линьков А.М. Механика горных ударов и выбросов. –М.: Недра, 1983. –280с.
4. Борисов А.А. Механика горных пород и массивов. –М.: Недра, 1980. –360.
5. Фадеев А.Б. Метод конечных элементов в геомеханике. –М.: Недра, 1987. –221с.
6. Ревуженко А.Ф., Шемякин Е.И. К вопросу о плоском деформировании упрочняющихся и разупрочняющихся пластических материалов. //Прикл. механики и техн. Физики. –1977. -№3. –С.156-174.
7. Айтматов И.Т. Геомеханика рудных месторождений Средней Азии. –Фрунзе: Илим, 1987. –246с.
8. Tatsuoka F. Fundamental Research for the Deformability of Sand by the Triaxial Apparatus Ph.D. dissertation presented to Tokyo University in Japan, 1972.