

ми АЭ и ЭМИ / Ин-т геотехн. механики АН Украины, Днепропетровск. Рук. деп. в ВИНТИ 1989 г № 3415-В89.

2. Глушко В.Т., Ямщиков В.С., Яланский А.А. Геофизический контроль в шахтах и тоннелях. - М.: Недра, 1987, 287 с.

УДК 622.831

Т.А. Паламарчук

### ОЦЕНКА НАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ ПОРОДНОГО МАССИВА АКТИВНЫМИ И ПАССИВНЫМИ ГЕОФИЗИЧЕСКИМИ МЕТОДАМИ

При проведении исследований свойств и состояния породного массива особое место принадлежит геофизическим методам как наиболее оперативным и информативным.

Рассмотрим распространение акустического сигнала в мелкослоистой среде, состоящей из чередующихся слоев, толщинами  $h_1$  и  $h_2$ . При достижении акустическим сигналом разрушенной обводненной или кварцесодержащей области, находящейся на расстоянии от источника акустического сигнала, возникают электромагнитные волны, распространяющиеся в диэлектрике со скоростью  $C/n$  ( $C$  - скорость света);  $n = \sqrt{\epsilon\mu}$  - показатель преломления, характеризующий электромагнитные свойства горных пород;  $\epsilon, \mu$  - диэлектрическая и магнитная проницаемости. Зная суммарное время  $t$ , прошедшее от начала посылки акустического сигнала до приема электромагнитного, скорость распространения акустических волн, можно определить расстоянием до механоэлектрически активной области

$$L = \frac{tVC}{C + Vn} \quad (1)$$

Уравнения для определения скорости акустических волн в мелкослоистой напряженной среде, состоящей из чередующихся слоев, приведено в работе [1]. Теперь рассмотрим распространение электромагнитных волн в мелкослоистой напряженной среде в направлении, перпендикулярном слоистости.

В этом случае, воспользовавшись выражениями для эффективных электрических и магнитных проницаемостей для мелкослоистой среды, получим следующее выражение для показателя преломления

$$n = \left( \frac{\bar{\varepsilon} \bar{\mu}}{\varepsilon \mu} \left( 1 + \frac{K^2 h_1^2 h_2^2 (1 \pm \sigma / 3K)}{16(h_1 + h_2)^2} \frac{\mu_1 \varepsilon_2 - \mu_2 \varepsilon_1}{\bar{\varepsilon} \bar{\mu}} \right) \right)^{\frac{1}{2}}, \quad (2)$$

где  $\bar{\varepsilon}, \bar{\mu}$  - среднее значение по периоду электрической и магнитной проницаемостей;  $\varepsilon_i, \mu_i (i = 1, 2)$  - проницаемости каждого слоя.

Подставляя в (1) выражение для  $V$  [1] и значение показателя преломления (2) и произведя простые преобразования, получим формулу для оценки напряженного состояния породного массива механоэлектрическим (активным методом)

$$\sigma = 3K \left( \frac{L^2 C^2 \rho (r_3 - D)}{2(Cir_3)^{\frac{1}{2}} - (2r_3 \bar{\varepsilon})^{\frac{1}{2}}} - 1 \right)^2, \quad (3)$$

где  $K$  - модуль всестороннего сжатия среза;  $\rho$  - ее эффективная плотность.

Полученное решение является теоретическим обоснованием возможности и целесообразности применения механоэлектрического метода для обнаружения обводненных или кварцесодержащих разрушенных участков в напряженном породном массиве, а также оценки его напряженного состояния.

Для оценки возможностей пассивных геофизических методов для исследования напряженного состояния воспользуемся следующими предположениями.

Прочность твердых тел характеризует их сопротивление разрушению и определяется силами межатомной связи и структурой тела.

Разрушение реальных тел происходит при нагрузках, меньше критических на один-два порядка [2].

Рассмотрим упругое тело, на поверхности которого действуют напряжения  $\sigma$ . При образовании прямолинейной трещины происходит освобождение упругой энергии в некоторой области. Для образования новой поверхности необходимо совершить работу на разрыв межатомных связей на единицу толщины тела. Кроме того, при разрушении происходит излучение электромагнитных и акустических волн. При фиксированных внешних границах тела изменение потенциальной энергии при росте трещины запишется в виде:

$$\Delta W_n = W_1 + W_2 + W_3 + W_4, \quad (4)$$

где  $W_1$  - работа пластической деформации

$$W_1 = \frac{3K\sigma^2}{2} + \tau_T \gamma, \quad (5)$$

где  $K$  - модуль всестороннего сжатия;  $\tau_T$  - касательные напряжения, соответствующие на кривой деформаций участку текучести.

$$\gamma = \sqrt{\frac{2}{3} \sqrt{(\varepsilon_x - \varepsilon_y)^2 + (\varepsilon_y - \varepsilon_z)^2 + (\varepsilon_x - \varepsilon_z)^2 + \frac{3}{2}(\gamma_{xy}^2 + \gamma_{xz}^2 + \gamma_{zy}^2)}} -$$

интенсивность деформаций сдвига;  $W_2$  - работа, затраченная на разрыв межатомных связей на одну единицу толщины тела

$$W_2 = 4lV, \quad (6)$$

где  $l$  - длина трещины;  $V$  - поверхностная энергия;  $W_3$  - объемная плотность энергии акустических волн, возникших при образовании трещины

$$W_3 = \rho V^2, \quad (7)$$

где  $\rho$  - плотность среды;  $V$  - скорость акустических волн в среде;  $W_4$  - объемная плотность энергии электромагнитных волн, возникших при образовании трещин

$$W_4 = \varepsilon \varepsilon_0 E^2, \quad (8)$$

где  $E$  - напряженность электрического поля, возникшая при разрушении горных пород.

Таким образом суммарный сигнал электромагнитного поля существенно зависит от размеров образовавшейся трещины и от удаления пункта измерения от места трещинообразования.

Подставив в уравнение (4) выражение (5), (6), (7), (8), рассматривая объем тела длиной, равной длине образовавшейся трещины, а основанием, равным 1, получим

$$\Delta W = \frac{3K\sigma^2}{2} - \tau_T \gamma + 4lV + \rho V^2 l + \varepsilon \varepsilon_0 E^2 l. \quad (9)$$

Если при увеличении длины трещины потенциальная энергия не будет возрастать, то произойдет рост трещин и разрушение тела, сопровождающееся излучением акустических и электромагнитных волн.

Отсюда следует:

$$-\frac{3K\sigma^2}{2} - \tau_T \gamma + 4V + \rho V^2 + \varepsilon \varepsilon_0 E^2 = 0. \quad (10)$$

Принимая, что в рассматриваемом случае сдвиговые напряжения и деформации отсутствуют, для оценки напряженного состояния получим следующее выражение:

$$\sigma = \left( \frac{2(4V + \rho V^2 + \varepsilon \varepsilon_0 E^2)}{3K} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (11)$$

Из полученной формулы следует, что, зная упругие, акустические, электрические свойства горных пород, их плотность, скорость и поверхностную энергию, а также, измеряя в точке приема напряженность электромагнитного поля, возникающего при разрушении горных пород, и зная модуль всестороннего сжатия  $K$  можно определить действующие напряжения  $\sigma$ .

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Глушко В.Т., Ямщиков В.С., Яланский А.А. Геофизический контроль в шахтах и тоннелях. - М.: Недра, 1987. - 248 с.
2. Воробьев А.А., Гонконогов М.П., Векслер Ю.А. Теоретические вопросы физики горных пород. - М.: Недра, 1977. - 150 с.

УДК 622.837+519.24

В.В. Левит, Г.Т. Рубец, Н.Т. Бобро

### ПРИЛОЖИМОСТЬ ТЕОРИИ НАИБОЛЕЕ СЛАБОГО ЗВЕНА К ОЦЕНКЕ ПРОЧНОСТИ СЛОЖНОСТРУКТУРНЫХ ТОЛЩ, ВСКРЫВАЕМЫХ ВЕРТИКАЛЬНЫМИ СТВОЛАМИ

На устойчивость подземного сооружения наибольшее влияние оказывают прочностные свойства, напряженное состояние, нагрузка на сооружение и его несущая способность. Наличие большого объема информации по прочностным свойствам пород позволяет подобрать соответствующую теоретическую статистическую модель и с ее помощью приближенно прогнозировать прочность пород в массиве, а также допустимые минимальные значения, применяя расширенную статистическую теорию хрупкой прочности Вейбулла, которая основана на концепции наиболее «слабого звена» с независимыми по прочности «звеньями» и методах статистической теории экстремальных значений. На основе обобщения модели наиболее слабого звена можно оценить также несущую способность слоистого массива в целом и вероятность разрушения его в зависимости от действующих напряжений. Имеющиеся результаты испытаний на прочность слоистых образцов подтверждают перспективность применения таких моделей для оценки прочности слоистых и блочных массивов. Для характе-