

6. - С. 31-32.

3. Скипа С.И. Сейсмoeлектрический эффект предельно напряженных пород// Изв. АН СССР. Физика Земли. - 1989. - № 7. - С. 88-92.

4. Мигунов Н.И., Скипа С.И. Сейсмoeлектрический эффект горных пород в режиме управляемого деформирования// Физика горных пород при высоких давлениях. - М.: Наука. - 1991. - С. 187-194.

УДК 622.831

Т.А. Паламарчук

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПРЕДПОСЫЛКИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК АКУСТИЧЕСКИХ И ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ ДЛЯ ДИАГНОСТИКИ НАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ МАССИВА ГОРНЫХ ПОРОД

Широкое внедрение в практику геофизических методов позволяет оценивать свойства массива с учетом его микроструктурных нарушений и напряженного состояния. В последнее время значительно возрос интерес к связным полям. Это название отражает взаимное влияние двух и более физических полей. Типичным примером такого направления исследований является термоупругость. Другим примером является связанности электрического поля с деформацией (пьезоэлектричество) и наоборот, а также электрического поля с акустическим (сейсмoeлектрика). Влияние сейсмoeлектрических свойств некоторых горных пород состоит в том, что распространение акустической (сейсмической) волны в горных породах может сопровождаться волной электрического поля.

Рассмотрим осадочные горные породы, которые зачастую являются диэлектриками. Как известно, в нормальных условиях диэлектрик является электрически нейтральным, т.е. содержит одинаковое число положительных и отрицательных зарядов. Введение диэлектрика в электрическое поле изменяет это поле.

В некоторых породах поляризация может возникнуть и без внешнего поля, под воздействием акустического (сейсмического) поля. Влияние сейсмoeлектрического эффекта на скорость распространения акустических волн в горных породах можно выявить, воспользовавшись уравнением

$$\sigma_{iK} = \lambda_{iKlm} U_{lm} - m_{liK} E_l, \quad (1)$$

где λ_{iklm} - компоненты упругости из обобщенного закона Гука; m_{ijk} - сейсмoeлектрические константы, характеризующие прирост механических напряжений.

Рассмотрим систему уравнений, описывающих распространение акустических волн в сейсмoeлектрически активных горных породах с учетом начального напряженного состояния [1]

$$\begin{cases} \rho u_i = \sigma_{ij,j} - u_{jk} \sigma_{ij,k} + w_{jk} \sigma_{ij} + w_{ji} \sigma_{kj} \\ E_{ji,j} + E_i^L - \varphi_{,i} + E_i^P = 0 \\ \varepsilon \varepsilon_0 \varphi_{,ii} - P_{i,i} = 0 \end{cases} \quad (2)$$

где ρ - плотность горных пород; u_i - вектор смещения; w_{ij} - тензор вращения; u_{ij} - тензор деформаций; E_i - вектор напряженности электрического поля; P_i - вектор поляризации; φ - электрический потенциал; ε - диэлектрическая проницаемость; ε_0 - электрическая постоянная; σ_{ij} - механические напряжения.

Воспользовавшись нелинейной теорией упругости и выражением для внутренней энергии слоистой среды, рассмотрим распространение плоской монохроматической волны перпендикулярно слоям в направлении оси z . Решая систему уравнений (2) для продольных волн, распространяющихся перпендикулярно слоистости, получим

$$\begin{cases} u_3^0 w^2 \rho = \lambda_1 (1 \pm \sigma_{33}^0 / 3K) k_3^2 u_3^0 + \lambda_1 P_3^0 k_3^2 \\ b_1 P_3^0 k_3^2 = \frac{1}{2} \lambda_1 (1 \pm \sigma_{33}^0 / 3K) u_3^0 k_3^2 \\ -\varepsilon \varepsilon_0 \varphi_0 k_3^2 - ik_3 P_3^0 = 0 \end{cases} \quad (3)$$

Для поперечных волн с поляризацией во взаимно перпендикулярных направлениях в первом приближении получим

$$\begin{aligned} u_i^0 w^2 \rho &= 4\lambda_5 (1 \pm \sigma_{ii}^0 / 3K) + \frac{1}{2} (\sigma_{33}^0 - \sigma_{ii}^0) f k_i^2 u_i^0 + 4\lambda_5 P_i^0 k_i^2 \\ 4b_4 P_i^0 k_i^2 + 2(\lambda_3 + 2\lambda_2) (1 \pm \sigma_{ii}^0 / 3K) k_i^2 u_i^0 - ik_i \varphi_0 &= 0 \\ -\varepsilon \varepsilon_0 \varphi_0 k_i^2 + ik_i \varphi_i^0 &= 0 \end{aligned} \quad (4)$$

где b_m - электрические постоянные; k - волновое число; K - модуль всестороннего сжатия.

Уравнения (3) представляют собой продольную волну в слоистой среде, модифицированную электрическим полем диэлектрика, а (4) - модифициро-

ванные поперечные волны, поляризационные во взаимно-перпендикулярных направлениях. В случае отсутствия поляризации $P_i^0 = 0$ имеем чисто упругие или, при наличии вязкости в среде, вязко-упругие волны. Решая системы (3), (4) в первом приближении получаем выражение для скоростей и коэффициентов продольных и поперечных волн, модифицированных электрическим полем.

Плотности энергий продольной и поперечной акустических и электромагнитных волн равны

$$W_u = \frac{1}{2} \rho u_0^2 w^2; \quad W_E = \frac{\epsilon \epsilon_0 E^2}{2} \quad (5)$$

Экспериментальные плотности энергий акустических и электромагнитных колебаний могут быть определены из следующих выражений

$$W_u = \sum_{i=1}^n (A_i^u)^2 T_i^u; \quad W_E = \sum_{i=1}^n (A_i^E)^2 T_i^E, \quad (6)$$

где $A_i^{u,E}$, $T_i^{u,E}$ - соответственно амплитуды и длительности акустических и электромагнитных импульсов.

Для продольных волн с учетом (3), (5)

$$\frac{W_E}{W_u} = \frac{\epsilon \epsilon_0 b_1'^2 \lambda_1^2 (1 \pm \sigma_{33}^0 / 3K)^2 w^2}{\rho (b_1^2 w^2 + v_p^2 / \epsilon \epsilon_0)^2 v_p^2}. \quad (7)$$

Отсюда после простых преобразований получаем выражение

$$\sigma_{33}^0 = 3K \frac{\epsilon \epsilon_0 b_1'^2 w^2 v_p + v_p^3}{\epsilon \epsilon_0 b_1' \lambda_1 w} \sqrt{\rho \left(\frac{W^E}{W^u} - 1 \right)},$$

из которого следует, что напряженное состояние горных пород можно определить по основным ее упругим и электрическим параметрам, а также отношению энергий электромагнитного и акустического излучений.

Из системы уравнений (4) аналогичным образом, зная и свойства горных пород, можно определить и остальные компоненты главных напряжений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Паламарчук Т.А., Хохолов В.К., Приходченко В.Л. Теоретические обоснования исследования процесса деформирования твердого тела метода-

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; ϵ, μ - 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