

## ГЕОМЕХАНИКА

УДК 622.02:550.37

Е.А. Зюзин

### ОЦЕНКА НАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ ВМЕЩАЮЩИХ ПОРОД ПО ЭЛЕКТРИЧЕСКИМ ИЗМЕРЕНИЯМ В УГОЛЬНОМ ПЛАСТЕ

Различие главных значений компонент тензора деформаций порождает анизотропию электрических свойств угольного массива, причём главные направления тензора деформаций совпадают с главными направлениями компонент тензора удельного электрического сопротивления угля.

Связь компонент тензора удельного электрического сопротивления углей  $\rho_{ii}$  средней влажности с компонентами главных деформаций  $\varepsilon_i$ , установлена для углей Кузбасса на основании теоретических исследований и результатов многочисленных измерений в натуральных условиях [1]. Эта связь имеет следующую форму:

$$\rho_{ii} = \frac{6\rho_1 \cdot (1 + \varepsilon_v)^2}{\pi W_c \cdot \gamma \cdot (1 + \varepsilon_i)}, \quad (1)$$

где  $\rho_1$  - удельное электрическое сопротивление влаги в порах;  $W_c$  - влажность угля в долях единицы (на единицу сухого веса);  $\gamma$  - отношение удельного веса угля к удельному весу воды;  $\varepsilon_v$  - относительная объемная деформация.

Предлагается следующая схема оценки напряжений во вмещающих породах по результатам измерений сопротивлений в угольном пласте. В пласте бурят три параллельные скважины на необходимую глубину таким образом, чтобы отрезки прямых, соединяющие устья данных скважин, образовали прямой угол (рис.1). Ось  $Ox$ , соединяющая скважины 0 и 1, должна быть перпендикулярна к плоскости деформирования пласта.

Измерения в этих скважинах осуществляют по схеме идеального потенциал – зонда. Вначале измерительный электрод  $M$  помещают в скважину 1, а питающий в скважину 0.

Перемещая одновременно электроды в скважинах через 15 - 25 см, измеряют ток  $I_{01}$  и разность потенциалов  $\varphi_{01}$ . Расстояние между электродами (скважинами) обозначают  $R_{01}$ . Затем электрод  $M$  помещают в скважину 2, а электрод  $A$  - в скважину 0 и производят аналогичные измерения (результаты измерений обозначают  $I_{02}$ ,  $\varphi_{02}$ ,  $R_{02}$ ). Третье измерение проводят в скважине 0. Электроды  $A$  и  $M$  укрепляют на непроводящем стержне длиной  $R \geq 2.5h$ , где  $h$  - среднее расстояние между трещинами всех систем, и перемещая их по скважине, производят измерения тока

$I_{02}$  и потенциала  $\varphi_{02}$ .

Последнее измерение производят, когда электрод  $M$  помещен в скважину 2, а электрод  $A$  - в скважину 0 таким образом, чтобы угол между осью  $Oz$  и линией, соединяющей электроды  $A$  и  $M$ , составлял  $\theta = 60^\circ$ . Перемещая одновременно электроды с тем же шагом, производят измерения тех же параметров ( $I_\theta, \varphi_\theta$ ).

Расчет деформаций участка угольного массива производят по формулам:

$$\begin{aligned} \varepsilon_2 &= \frac{\rho_{22}}{\rho_{11}} - 1 = \frac{\gamma_1 \cos^2 \alpha - \gamma_2 \sin^2 \alpha}{\cos 2\alpha} - 1; \\ \varepsilon_3 &= \frac{\rho_{33}}{\rho_{11}} - 1 = \frac{\gamma_2 \cos^2 \alpha - \gamma_1 \sin^2 \alpha}{\cos 2\alpha} - 1, \end{aligned} \quad (2)$$

где  $\varepsilon_2$  и  $\varepsilon_3$  - деформация массива в главных направлениях 2 и 3;

$$\begin{aligned} \gamma_1 &= \left( \frac{\varphi_{01} I_{02} R_{01}}{\varphi_{02} I_{01} R_{02}} \right)^2; \quad \gamma_2 = \left( \frac{\varphi_{01} I_{00} R_{01}}{\varphi_{00} I_{01} R_{00}} \right)^2; \\ \gamma_3 &= \left( \frac{\varphi_{01} I_\theta R_{01}}{\varphi_\theta I_{01} L} \right)^2. \end{aligned} \quad (3)$$

Угол, который составляет главное направление 3 с осью  $Oz$  ( $\alpha$ ), вычисляется по формуле:

$$\alpha = \frac{1}{2} \arctg \left[ \frac{2}{(\gamma_1 - \gamma_2) \sin 2\theta} (\gamma_3 - \gamma_1 \sin^2 \theta - \gamma_2 \cos^2 \theta) \right] \quad (4)$$

В силу выбора направления оси  $Ox$   $\varepsilon_1 = 0$ .

Отрицательные значения  $\varepsilon_2$  и  $\varepsilon_3$  соответствуют растягивающим напряжениям в массиве.

Определив главные деформации в каждой точке оси  $Oz$ , можно рассчитать напряжения во всем полупространстве (в кровле или почве):

$$\begin{cases} \sigma_1 = \frac{\nu E}{(1 + \nu)(1 - 2\nu)} (\varepsilon_2 + \varepsilon_3); \\ \sigma_2 = \frac{E}{(1 + \nu)} \left[ \varepsilon_2 + \frac{\nu}{1 - 2\nu} (\varepsilon_1 + \varepsilon_3) \right]; \\ \sigma_3 = \frac{E}{(1 + \nu)} \left[ \varepsilon_3 + \frac{\nu}{1 - 2\nu} (\varepsilon_1 + \varepsilon_2) \right], \end{cases} \quad (5)$$

где модуль упругости в массиве с учетом трещиноватости пород [2]

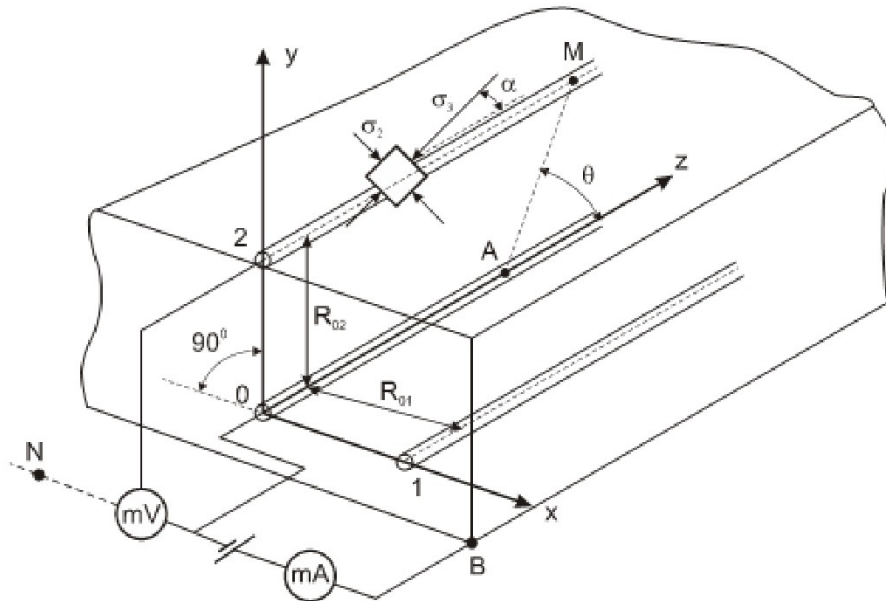


Рис.1. Оценка главных деформаций угольного массива по результатам измерений кажущегося удельного электрического сопротивления:

$A, B$  – источники тока;  $M, N$  – измерительные электроды; 1, 2, 3 – измерительные скважины;  $R_{01}, R_{02}$  – расстояние между измерительными скважинами;  $\sigma_{2,3}$  – главные напряжения;  $\alpha$  – угол между осью  $Oz$  и направлением главного значения тензора напряжений  $\sigma_3$ .

$$E = \frac{E_o}{1 + n \frac{K_{mp}}{\xi_o}}$$

$n$  – число систем трещин;  $\xi_o$  – коэффициент трещиноватости пород;  $E_o$  – модуль упругости пород, определяемый на образцах (кернах);

$$\nu = \frac{\nu_o}{1 + \frac{K_{mp}}{\xi_o n}}$$

– коэффициент Пуассона пород в массиве [2];  $\nu_o$  – коэффициент Пуассона по данным измерений на образцах пород.

Теперь можно найти нормальные напряжения  $\sigma_y, \sigma_z$  и касательные на границе контакта с вмещающими породами напряжения  $\tau_{zy}$  по формулам:

$$\begin{cases} \sigma_y = \sigma_3 \sin^2 \alpha + \sigma_2 \cos^2 \alpha; \\ \sigma_z = \sigma_3 \cos^2 \alpha + \sigma_2 \sin^2 \alpha; \\ \tau_{zy} = \frac{(\sigma_3 - \sigma_2)}{2} \sin 2\alpha. \end{cases} \quad (6)$$

При наличии ярко выраженной системы трещин, вызывающей анизотропию электрических свойств, данный способ оценки напряжений неприемлем. Но при хаотической трещиноватости массивов, слабой микротрещиноватости участков можно получить удовлетворительные результаты. Во всех случаях база зонда при измерениях по схеме потенциал – зонда должна превосходить минимальное расстояние между трещинами всех систем в 2,5 – 3 раза. Так, при минимальном среднем расстоянии 5 м между трещинами всех систем расстояние между электродами зонда должно быть не менее 12 метров. Такое же расстояние должно быть и между скважинами.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шиканов А.И., Дягилева А.В., Дырдин В.В. Электрометрический контроль краевых зон угольных пластов. – Кемерово: КузГТУ, 2000, 139с.
2. Временные методические указания по оценке структуры, свойств и напряженного состояния труднообрушаемых кровель угольных пластов. – Кемерово: КузГТУ, 2002. 41с.

□ Автор статьи:

Зюзин

Евгений Александрович  
– старший преп. каф. теоретической  
и геотехнической механики КузГТУ  
т: 8 (384-2) 58-10-56.  
e-mail: [kombat1977@mail.ru](mailto:kombat1977@mail.ru)