

структуры, рассматриваемых как свободные балки конечной длины с переменными по длине моментами инерции и шириной площади опирания, лежащими на двухслойном основании, где переменные упругие свойства верхнего слоя соответствуют гипотезе пропорциональности, а нижний слой рассматривается как упругое полупространство. В целом, в работе [1] и в настоящей статье изложен метод расчета основных элементов путевой структуры при переменных параметрах конструкции пути и его основания.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Говоруха В.В. Метод расчета основных элементов путевой структуры при переменных параметрах конструкции и основания. Часть I. Интегральные уравнения изгиба балок с переменными параметрами // Геотехническая механика.-Сб. научн. трудов ИГТМ НАН Украины.-Днепропетровск.-1997.-Вып. 3.- С.159-164.

УДК 622.291:622.831

Ю.Н. Пилипенко, С.Я. Иванчишин, Ю.С. Опрышко

ДИАГНОСТИКА ГЕОМЕХАНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ УГОЛЬНЫХ ПЛАСТОВ В ЗОНАХ ТЕКТОНИЧЕСКИХ НАРУШЕНИЙ

Викладені фізичні основи діагностики структурної порушеності масиву гірських порід, що базуються на зміні електрокінетичних явищ та перехідних процесів викликаної поляризації у двофазних (ДФ) середовищах. Табл. 2. Бібліогр. - 4 найм.

В процессе разрушения горных пород в них происходят механоэлектрические преобразования, результат которых проявляется в виде перестройки связей, изменения электрофизических, прочностных и деформационных свойств [1, 2]. Состояние среды, адекватно отражающее динамику процесса разрушения (деформирования), можно охарактеризовать коэффициентом механоэлектрической связи $k_{мэ}$, который является коэффициентом пропорциональности между приложенным к образцу механическим усилием и возникающим при этом зарядом, обусловленным как внутренними эффектами (электрострикция),

так и под влиянием внешнего электромагнитного поля. Коэффициент механоэлектрической связи можно представить в виде:

$$k_{мэ} = \frac{\epsilon_0 \epsilon F(t) SN}{C_k \sigma}, \quad (1)$$

где ϵ_0 - электрическая постоянная; ϵ - диэлектрическая постоянная; $F(t)$ - поляризационная характеристика; S, N - геометрические параметры образца, C_k - поляризационная емкость, σ - напряжения.

Коэффициент механоэлектрической связи определяется упругими и диэлектрическими свойствами горных пород и, в наиболее общем виде, взаимосвязь состояния среды и переходных процессов вызванной поляризации описывается с помощью параметрических сплайн-функций [3].

Пусть кривая задана в плоскости OX_1X_2 своими параметрическими уравнениями $X_k = \varphi_k(t)$ ($k=1, 2$); $t \in [a, b]$, где $\varphi_k(t)$ - гладкие функции. Введем на отрезке $[a, b]$ произвольное разбиение δ_n : $a = t_0 < t_1 < \dots < t_{n-1} < t_n = b$ и обозначим: $\varphi_k^{(i)}(t) = d^i \varphi_k / dt^i$ ($i=0, 1$); $\varphi_k^{(0)}(t) = \varphi_k(t)$ ($k=1, 2$); $h_j = t_{j+1} - t_j$ ($j=0, 1, \dots, n-1$).

Кривой γ поставим в соответствие параболическую эрмитовую сплайн-кривую $S_2(\gamma)$, которая на каждом промежутке $[t_j, t_{j+1}]$ ($j=0, 1, \dots, n-1$) задается уравнениями:

$$S_2(j, \varphi_k, t) = \sum_{p=0}^1 \varphi_k^{(p)}(t_{j+p}) \psi_{i,p}(t) \quad (k=1, 2), \quad (2)$$

где

$$\psi_{0,0}(t) = \begin{cases} 1 - 2 \left(\frac{t - t_j}{h_j} \right)^2, & \text{если } t_j < t < t_{j+1/2} = (t_j + t_{j+1}) / 2 \\ 2 \left(\frac{t_{j+1} - t}{h_j} \right)^2, & \text{если } t_{j+1/2} \leq t \leq t_{j+1} \end{cases}$$

$$\psi_{0,1}(t) = 1 - \psi_{0,0}(t)$$

$$\psi_{1,0}(t) = \begin{cases} (t-t_j)(2t_{j+1}+t_j-3t)/2h_j, & \text{если } t_j \leq t \leq t_{j+1/2} \\ (t_{j+1}-t)^2/2h_j, & \text{если } t_{j+1/2} \leq t \leq t_{j+1} \end{cases}$$

$$\psi_{1,1}(t) = \begin{cases} -(t-t_j)^2/2h_j, & \text{если } t_j \leq t \leq t_{j+1/2} \\ (t_{j+1}-t)(t_{j+1}+2t_j-3t)/2h_j, & \text{если } t_{j+1/2} \leq t \leq t_{j+1} \end{cases}$$

и интерполирует γ в точках $A_j(\varphi_1(t_j), (\varphi_2(t_j))$ ($j=0, 1, \dots, n$) и имеет в A_j тот же угол наклона касательной к оси OX_1 , что и γ .

Подставляя в формулу (2) вместо $\varphi_k^{(j)}(t_j)$ приближенные значения $\hat{\varphi}_k^{(j)}(t_j)$, рассчитанные на основании имеющейся информации о кривых γ и полагая при $j=0$ и $j=n$, соответственно:

$$\hat{\varphi}_k(t_0) = [\varphi(t_1) - \varphi(t_0)]/h_0,$$

$$\hat{\varphi}_k(t_n) = [\varphi(t_n) - \varphi(t_{n-1})]/h_{n-1} \quad (3)$$

Применяя для остальных t_j ($j=2, \dots, n$) интерполяционные полиномы Лагранжа $l_2(\varphi_k, t)$ степени 2, интерполирующие $\varphi_k(t)$ в точках t_{j-1}, t_j, t_{j+1} , запишем

$$\hat{\varphi}_k(t_j) = l_2^{(j)}(\varphi_k, t_j) = -\varphi_k(t_{j-1}) \frac{h_j}{h_{j-1}(h_j + h_{j+1})} -$$

$$-\varphi_k(t_j) \frac{h_{j+1} - h_j}{h_{j-1}h_j} + \varphi_k(t_{j+1}) \frac{h_{j+1}}{h_j(h_{j-1} + h_j)} \quad (4)$$

В качестве параметра целесообразно использовать длину ломаной с вершинами в точках интерполяции A_j ($j=0, 1, \dots, n$), отсчитываемую от A_0 . В этом случае $t_0 = 0, t_n = \alpha$, где α длина всей кривой.

Конкретизируя координатную систему OX_1X_2 ($X_1 = \sigma_{сж}(t)$, $x_2 = \tau(t)$) и полагая $\varphi_1(t) = \sigma_{сж}(t)$, $\varphi_2(t) = \tau(t)$, на основании (2-4) получаем сплайн-кривую $S_2(\gamma)$, которая интерполирует изменение переходной характеристики вызванной поляризации и записывается на произвольном отрезке $[t_j, t_{j+1}]$ ($j=0, 1, \dots, n$), следующими параметрическими уравнениями:

$$S_2(\gamma, \sigma_{сж}, t) = \sum_{z=0}^1 \sigma_{сж}(t_{j+1})\psi_{0,p}(t) + (t_{j+p})\psi_{1,p}(t)$$

$$S_2(\gamma, \tau, t) = \sum_{z=0}^1 \tau(t_{j+1})\psi_{0,p}(t) + \sum_{p=0}^1 \tilde{\tau}(t_{j+p})\psi_{1,p}(t)$$

Здесь текущий параметр t - это длина ломаной с вершинами $A_j = \sigma_{сж}(j), \tau(t_j)$ ($j=0, 1, \dots, n$), вписанной в j . Используя соотношение (5), представляется возможность детально описать изменение физико-механического состояния горных пород в процессе механических нагружений путем измерения переходных характеристик вызванной поляризации и расчета коэффициентов механоэлектрической связи в двухфазных (ДФ) средах [4].

Некоторые результаты изменения свойств горных пород при нагружении представлены в табл. 1.

Таблица 1

Напряжения σ , МПа	Деформации, проц.	Коэффициент разрыхления k_p	Скорость спада v_k , с ⁻¹	Коэффициент механоэлектрической связи $k_{мэ} \cdot 10^8$
16,6	-1,10	0,987	2,04	8,41
21,4	-1,28	0,982	2,09	8,81
22,7	-1,34	0,980	2,17	8,93
23,5	-1,38	0,978	2,31	9,71
19,1	-2,51	0,998	0,93	6,45
17,1	-3,16	1,021	0,89	6,38

Из таблицы 1 следует, что коэффициент механоэлектрической связи исследуемой горной породы показывает способность отражать через преобразование энергии электрических колебаний энергию упругих деформаций и связанных с ней напряжений.

В процессе выполнения лабораторных исследований проводилось накопление экспериментальных данных. Их комплексная обработка и обобщение позволили определить зависимость параметров переходных процессов вызванной поляризации от направления прикладываемых к образцу усилий и

частоты электрического поля. Это позволило установить механоэлектрические эффекты в горных породах при упругом деформировании путем исследования амплитудно-временных спектров переходных процессов вызванной поляризации.

Сопоставление результатов микроскопических исследований, изменений переходных характеристик вызванной поляризации позволило установить закономерность, которая позволяет определить параметры зоны дробления тектонических нарушений. С изменением степени нарушенности образцов горных пород и угля выявлен различный характер изменения скорости спада вызванной поляризации: в одном случае скорость спада на высоких частотах практически не изменяется, в другом - уменьшается в 3-4 раза при полном цикле «нагрузка-разрушение». В первом случае анализу подвергались образцы из зоны дробления с развитой тектонической структурой, во втором - изучались монолитные образцы с редкой системой отдельных трещин. Отмеченная закономерность позволила ввести параметр, который отражал бы состояние среды путем введения коэффициента электромеханодеструкции

$$k_{\text{мэд}} = \frac{V_{\text{к}}^* E_{\text{ст}}^*}{V_{\text{т}}^* E_{\text{ст}}^*}$$

где $V_{\text{к}}^*$, $V_{\text{т}}^*$, $E_{\text{ст}}^*$, $E_{\text{ст}}^*$ — скорости спада вызванной поляризации и модули упругости образцов пород с монолитной и тектонически нарушенной средой. В табл. 2 приведены значения коэффициента электромеханодеструкции некоторых горных пород, полученные экспериментальным путем.

Установленные закономерности изменения переходных характеристик вызванной поляризации от напряженно-деформированного состояния горных пород предоставили возможность проводить оценку аномальных зон напряжений и вычислять границы их распространения оздают предпосылки для раскрытия механизма возникновения аномальных эффектов в зонах тектонических нарушений и разработать принципы

качественной и количественной интерпретации результатов шахтных наблюдений.

Таблица 2

Наименование породы	Месторождение	Интервал изменений
Диорит	Березовское	53-97
Песчаник	Никитовское ртутное	17-49
Уголь марки К	Центральный район Донбасса	1,1-6,4
Уголь марки Ж	Центральный район Донбасса	2,7-19
Песчаник	Центральный район Донбасса	12-37

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Механоэлектрические явления во влажных горных породах / Отв. редактор В. В. Кормильцев, А. В. Цирульский // Предпринт. Свердловск. УНЦ АН СССР. 1982. - С.

2. Булат А. Ф. и др. Переходные процессы вызванной поляризации в напряженных ДФ-средах с нарушенной структурой / Булат А. Ф., Пилипенко Ю. Н., Курносков А. Т., Пидгайный Я. М. // Физика импульсных разрядов в конденсированных средах. Николаев. 1995. - С. 210-212.

3. Завьялов Ю. С. и др. Методы сплайн-функций. / Завьялов Ю. С., Иванов Б. И., Мирошниченко В. А. // - М.: Наука, 1980. - С. 352.

4. Булат А. Ф. и др. Электризация пород и углей при их разрушении. / Булат А. Ф., Курносков А. Т., Пилипенко Ю. Н. // Повышение эффективности разрушения горных пород. - Киев. 1991. - С. 121-125.