

УДК 550.8.07:622.02

Т.А. Паламарчук, А.С. Гребенкина

## ЭЛЕКТРОМЕТРИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ СВОЙСТВ И СОСТОЯНИЯ ГОРНЫХ ПОРОД

Приведено результати теоретичних та експериментальних електрометричних досліджень властивостей і стану гірських порід.

## ELECTROMETRIC INVESTIGATIONS OF THE ROCK'S PROPERTIES AND STATE

Results of theoretical and experimental electrometric investigations of the rock's properties and state are represent.

Электрометрические методы основаны на известном явлении зависимости электропроводимости горных пород от величины механических напряжений, трещиноватости, пористости, влажности, температуры горных пород, их плотности и минералогического состава [1-3].

С учетом особенностей горной геофизики разработаны теоретические основы электрометрического контроля состояния плоскопараллельных породных структур. Получена аналитически связь между кажущимся электрическим сопротивлением горных пород или любого другого объекта геотехнических систем и их влажностью, пористостью, механическими напряжениями, деформационными параметрами, а значит и трещиноватостью среды.

Такой теоретический подход позволяет оценить основные влияющие факторы на электрическое сопротивление геоматериалов при отработке методики их диагностики в различных условиях.

Для горных пород различной степени влажности с учетом начальных напряжений в породном массиве, при условии некоторых допущений, получены следующие выражения для определения удельного электрического сопротивления для слоев горных пород с коэффициентом водонасыщения, меньшим 0,8:

$$\rho_i = \frac{\sqrt{6} \rho_c^{1/2} \rho_g^{1/2} \left( 1 \pm \frac{\sigma_{ij}^0}{3K} \right)^{3/2}}{\pi \left( 1 \pm \frac{\sigma_{ii}^0}{E} \right)^2 W_e^{1/2} \gamma_1^{1/2}}, \quad (1)$$

а для горных пород с коэффициентом водонасыщения, большим 0,8 –

$$\rho_i = \frac{1,12\rho_c^{1/2}\rho_e^{1/2}\left(1 \pm \frac{\sigma_{jj}^0}{3K}\right)^{3/2}}{\sqrt{\pi}\left(1 \pm \frac{\sigma_{ii}^0}{E}\right)^2 m_0^{1/2}}, \quad (2)$$

где  $\rho_e$ ,  $\rho_c$  – удельные электрические сопротивления воды в порах и в минеральном скелете соответственно;  $W_e$  – влажность горных пород на единицу сухой массы в долях единицы;  $\gamma_1$  – отношение удельного веса горных пород к удельному весу воды;  $m_0$  – пористость горных пород; (по индексу  $i$  нет суммирования).

Из полученного решения следует, что на величину удельного электрического сопротивления оказывает влияние как объемное напряженное состояние, так и величина напряжений, действующих в направлении, в котором производятся замеры.

С целью выявления зависимости удельного электрического сопротивления от открытой пористости или трещиноватости геосреда рассмотрена как система, состоящая из твердой, жидкой и газообразной фаз. Так как выражения, полученные при точном решении задачи, весьма громоздки, то, приняв ряд допущений, получено уравнение:

$$\rho_{ni} = \left( \frac{1 - m_n}{\rho_n} - \frac{m_n^2(1 - m_n)^3}{\rho_e} \right)^{-1}, \quad (3)$$

где  $\rho_n$  – удельное электрическое сопротивление ненарушенного горного массива;  $m_n$  – открытая пористость или степень трещиноватости исследуемого участка.

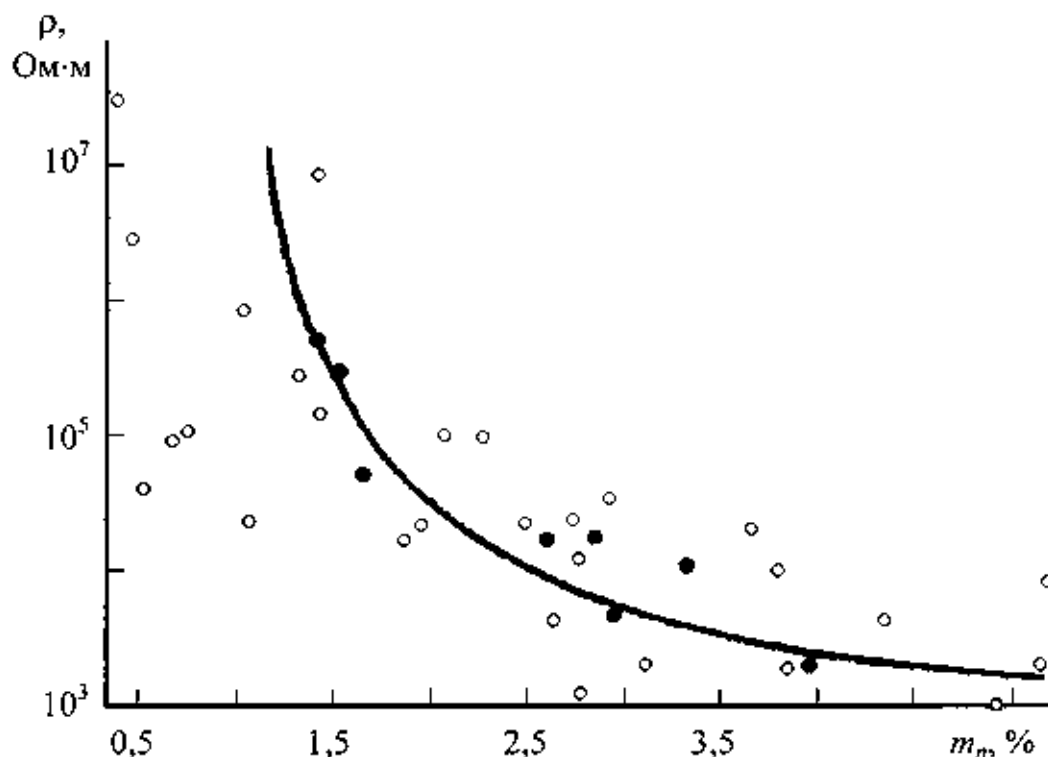
Из приведенного уравнения следует, что зависимость удельного электрического сопротивления среды от пористости изменяется по гиперболическому закону, что совпадает с результатами экспериментальных исследований (погрешность не превышает 17 %) (рис. 1).

Изменения структуры геоэлектрического разреза вокруг горных выработок, вызванные влиянием горного давления, изучают с помощью комплекса методов подземного электрического зондирования (ПЭЗ) и электрокаротажа скважин. Подземное электрическое зондирование осуществляется в горных выработках измерительными установками различных видов, при этом изучается изменение сопротивления горных пород на глубину.

При наличии скважин в горных выработках появляется возможность уточнения результатов ПЭЗ, проведенных на поверхности выработки. Скважинное исследование методом кажущегося сопротивления основано на расчленении пород по сопротивлению. Метод аналогичен электрическому профилированию методом сопротивлений при наземной электроразведке.

Диаметр шпура при электрометрическом контроле в зависимости от бурового оборудования находится в пределах от 42 до 59 мм, длина шпура должна

быть от 2 до 20 м и более. Разнос питающих электродов при профилировании должен составлять порядка 0,5 м.



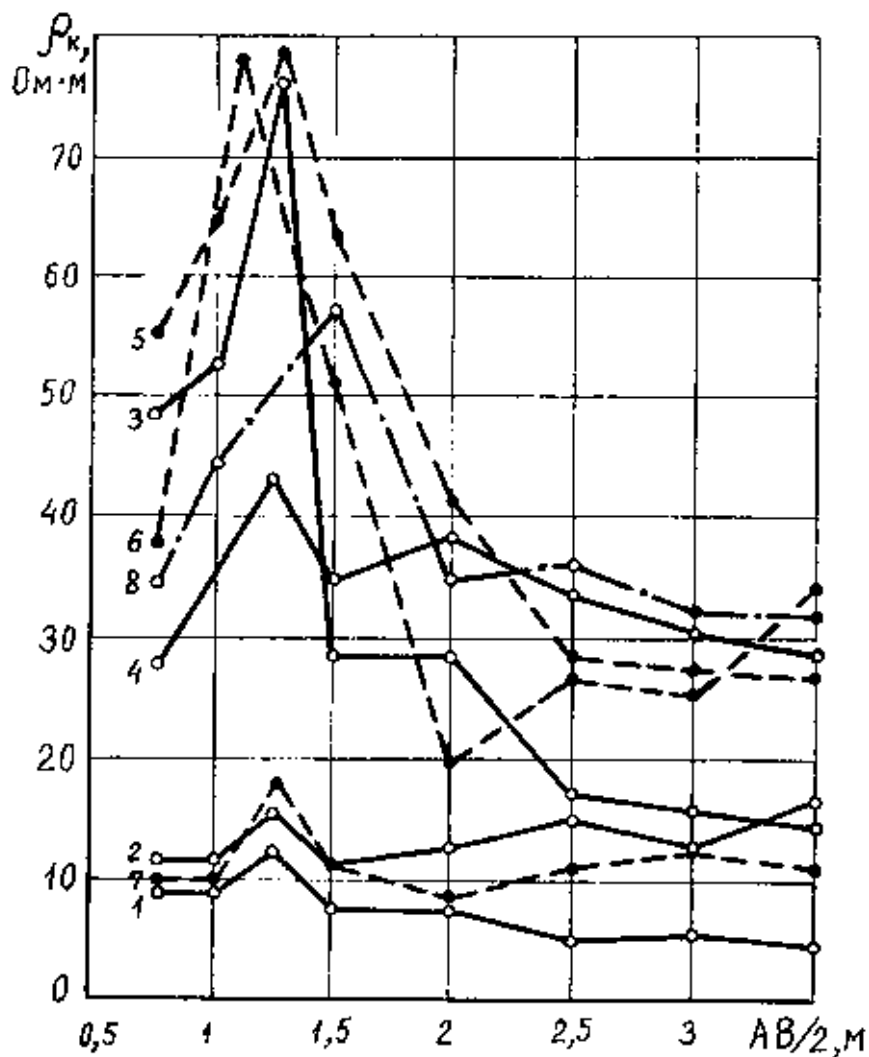
○ – данные по отдельным образцам; ● – средние значения

Рис. 1 – Зависимость удельного электрического сопротивления интрузивных и эффузивных пород от пористости:

Графическое представление результатов измерений, выполненных в выработках с открытой почвой, показано на рис. 2. Ломаные 1, 2, 3, 4 характеризуют изменение  $\rho_k$  на различных участках и вглубь массива. Ломаные 1 и 2 получены по осевой линии выработки с высокой степенью увлажнения и уплотнения. Значения  $\rho_k$  на этом участке невысокие. Со смещением в один метр к стенке выработки пройден профиль, измерения по которому отражает ломаная 3. Отмечается увеличение сопротивления. На удалении 0,8-1,2 м от стенки выработки по длине участка был проложен профиль 4. Как видно из графика, на этом участке наибольшая величина  $\rho_k$ , что свидетельствует о максимальной нарушенности (трещиноватости) пород в этой области. Аналогичный характер изменения  $\rho_k$  прослежен в полевой магистральной конвейерной выработке: ломаная 7 отражает состояние пород на уплотненном, ненарушенном участке выработки, а ломаные 5 и 6 характеризуют изменение  $\rho_k$  у стенки выработки (0,5-0,8 м) [4].

Анализ показывает, что величина удельного электрического сопротивления изменяется как по ширине выработки, так и вглубь массива. Важный вывод:  $\rho_k$  возрастают от продольной оси выработки к ее стенке в 4-8 раз, что достаточно надежно характеризует состояние пород почвы. Таким образом, зона максимальной нарушенности пород смещается от центра выработки к ее стенкам. На

исследованных участках ее ширина составляет 0,2-0,3 ширины выработки.



участки измерений: 1, 2, 3, 4 – в Северном обходном квершлагае гор. 1550 м;  
 5, 6, 7 – в магистральной конвейерной полевой выработке;  
 8 – в заезде на людском ходе уклона №2 (Шахта "Горняк")

Рис. 2. – Пример графического представления результатов измерений, выполненных в выработках с открытой почвой

Для количественной оценки трещиноватости удобно воспользоваться также коэффициентом разрыхления горных пород [3,5], который определяется по формуле

$$K_p = 1 + \frac{\lg \beta - \lg \rho_a}{\lg \rho_3}, \quad (4)$$

где  $\rho$  – измеряемое удельное электросопротивление;  $\rho_a$  – удельное электросопротивление ненарушенной среды;  $\rho_3$  – удельное электросопротивление заполнителя трещин.

Для анализа глубины развития зон нарушенности (трещиноватости) в поро-

дах почвы по результатам измерений, используя формулу (4), вычислены коэффициенты трещиноватости ( $K_p$ ), приведенные в табл. 1.

Таблица 1 – Значение коэффициента разрыхления

Участок	Глубина зондирования, м							
	0,75	1,00	1,25	1,50	2,00	2,50	3,00	3,50
Магистральная выработка	1,14	1,17	1,20	1,15	1,07	1,10	1,09	1,08
Обходной кварцшлаг	1,16	1,17	1,18	1,13	1,11	1,08	1,08	1,07

В качестве примера интерпретации результатов электрометрических измерений представлено графическое изменение коэффициента разрыхления (трещиноватости) (рис. 3) [6].

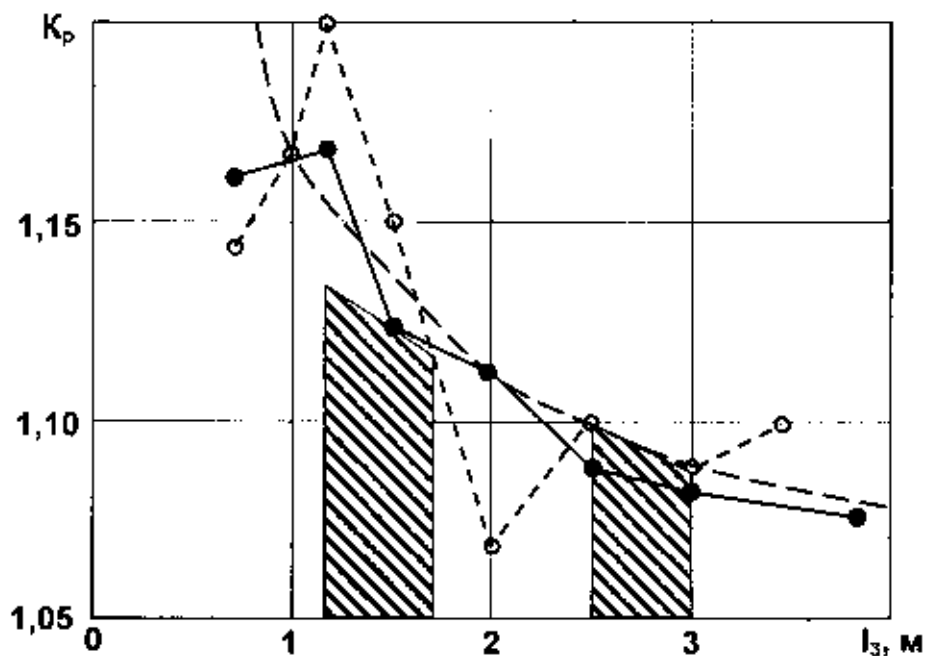


Рис. 3 – Графическое представление характера изменения коэффициента разрыхления (трещиноватости):

Из графика видно, что снижение  $K_p$  с увеличением глубины зондирования массива носит гиперболический характер. Совместный анализ графиков (рис. 3) и данных табл. 1 свидетельствует, что зона максимального расслоения пород на исследуемых участках достигает глубины 1,5-2,0 м. На графиках (рис. 3) при значении  $AB/2$ , равном двум метрам, можно отметить границу стабилизации кажущегося электрического сопротивления, вызванного трещиноватостью. За этим пределом прослеживается выполаживание ломаных линий, и значения  $\rho_k$  можно интерпретировать как величины физического показателя, имманентно присущие данному типу пород, находящихся в естественном залегании. Подтверждением сказанному является тенденция изменения  $K_p$  в диапазоне глубин 1-2 м (рис. 3).

Резкое снижение  $K_p$  отмечается на глубине 2-2,5 м. Можно утверждать, судя по рис. 3, что зона раздела весьма нарушенных пород и близких к естественному состоянию находится на глубине 1,75-2,5 м, породы в этой зоне можно характеризовать как связно-нарушенные, разрыхленные и разупрочненные.

Электрометрические исследования процессов разрушения в породном массиве при ведении различных горных пород позволили доказать высокую степень работоспособности метода для определения зон концентрации напряжений, повышенной трещиноватости вблизи камер, одиночных, сближенных и очистных выработок. Установлено, что зона концентрации напряжений в выработках с устойчивой кровлей находится ближе к контуру выработки по сравнению с разрушенными зонами. Величина зон концентраций напряжений вблизи сопряженных выработок превосходит величину зоны вблизи одиночной, происходит сложение напряжений, наблюдается как бы их интерференция. Стабильная разница в величинах электросопротивления между левыми и правыми сторонами выработки, также как и при виброакустическом контроле, свидетельствует о влиянии посторонних, постоянно действующих сил: геотектоники, очистных работ, зон неоднородностей массива.

Результаты натурных электрометрических измерений подтверждают волновую природу распределения зон повышенной трещиноватости массива вблизи горных выработок и возникновение процессов самоорганизации в породном массиве при ведении горных работ (рис. 4).

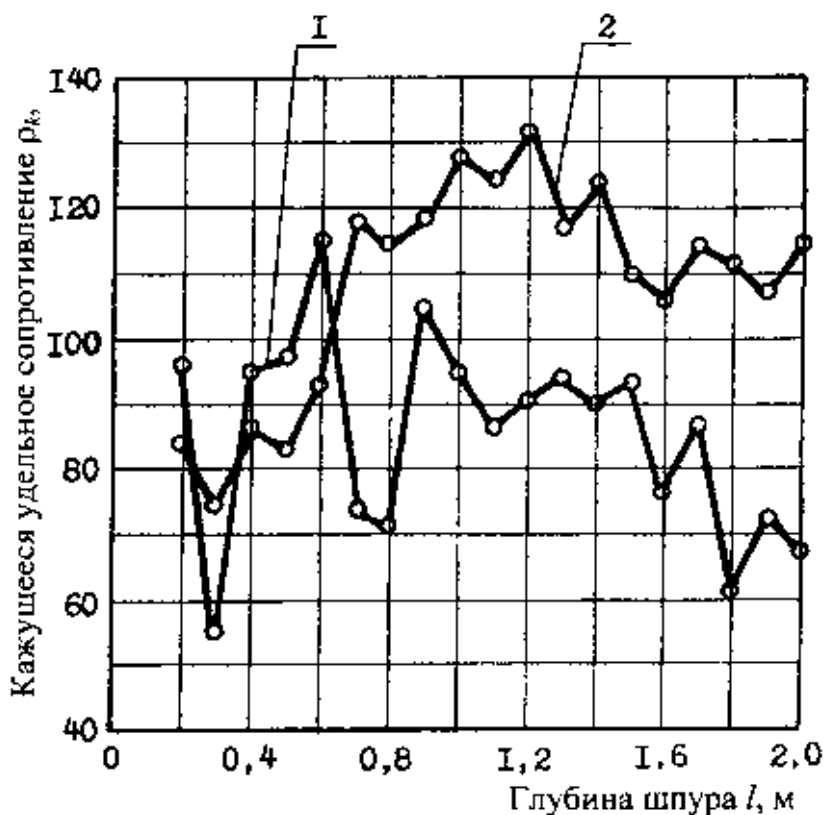


Рис. 4. – Характерные зависимости кажущегося удельного электросопротивления от расстояния к контуру горизонтальной выработки

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Глушко В.Т., Ямщиков В.С., Яланский А.А. Геофизический контроль в шахтах и тоннелях. – М.: Недра, 1987. – 278 с.
2. Методика электрометрического экспресс-контроля образцов и массива без их механической обработки / Б.М. Усаченко, А.А. Яланский, Т.А. Паламарчук, О.А. Терешкова и др. // *Металлургическая и горнорудная промышленность*. – 1993. – №4. – С. 26-29.
3. Паламарчук Т.А. Теоретические основы геофизической диагностики геомеханического состояния породного массива с учетом синергетических процессов: Дис... д-ра техн. наук: 05.15.11; 05.15.09. - Днепропетровск. - 2002. - 385 с.
4. Руководство по геофизической диагностике состояния системы "крепь-породный массив" вертикальных стволов / А.Ф. Булат, Б.М. Усаченко, А.А. Яланский, В.Н. Сергиенко, Т.А. Паламарчук и др. - Донецк: АГН Украины. - 1999. - 42с.
5. Мальярчук Б.М., Гордийчук Н.В., Мельник М.П. Прогнозирование осложнений геомеханического происхождения с помощью электроразведки // Научн.-практ. конф. "Пробл. научн. техн. прогресса в строительстве глубоких скважин в Западной Сибири". - Тюмень: Гор. книжн. изд-во. - 1990. - С. 24.
6. Левит В.В. Геомеханические основы разработки и выбора комбинированных способов крепления вертикальных стволов в структурно-неоднородных породах: Дис... д-ра техн. наук: 15.15.04. - Днепропетровск. - 1999. - 463 с.

УДК 622.831.3

В.Я. Кириченко, Г.Г. Сугаренко,  
Ю.В. Сальников

### **ОСНОВНЫЕ ФАКТОРЫ РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЯ ПРИ КРЕПЛЕНИИ И ПОДДЕРЖАНИИ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК**

У статті розкриваються три формуючі джерела ресурсозбереження при проведенні й експлуатації підготовчих виробітків, їхній взаємозв'язок й економічні межі припустимих витрат на кріплення, кріплення й підтримку виробітків на період до повного відпрацювання підготовлених до виїмки запасів.

### **MAJOR FACTORS OF RESOURCES CARETAKING AT ATTACHMENT AND KEEPING UP OF MINE WORKINGS**

In paper three reshaping radiants a resource of caretaking are uncovered at conducting and exploitation of development workings, their intercoupling and economic limits of admissible expenditures on a support, attachment and roadway maintenance on phase before complete improvement of reserves, preformed for an extraction.

Существуют и используются две формально равноправных группы мероприятий, преследующих конечную цель снижения металлоемкости крепления горных выработок, а также ресурсоемкости в целом по процессу «крепление и поддержание». На практике мероприятия этих двух групп могут применяться и применяются в определенных сочетаниях с преобладанием мероприятий той или иной группы в зависимости от целей и конкретной ситуации, определяющей подход к крепи и оценку степени влияния ее силовых, кинематических и геометрических параметров на устойчивость выработки. Естественным образом такая оценка в первую очередь определяется конкретной геомеханической обстановкой прохождения и эксплуатации выработки в течении всего срока ее поддержания. С другой стороны выбор конкретных технических и технологических мероприятий определяется действующей системой экономических свя-