

дев'ятнадцятого століття: вугілля видобувають, піднімають на земну поверхню, збагачують, навантажують в вагони, везуть на далекі відстані, а потім спалюють.

Чому ж би його не спалити на місці?

Д.І. Менделєєв ще в кінці дев'ятнадцятого століття пропонував передворити вугілля в газ і транспортувати його по трубах. Але простіше перетворити угілля в електроенергію шляхом повного спалювання на місці залягання. Для цього треба зробити підземний енергопротяг, який складається з вугільного комбайну, котла, турбіни, електрогенератора. Протяг, як крот, буде просуватись по вугільному пласту, залишаючи після себе тільки шар золи. Щоправда, за ним буде тягнутись труба для відводу диму, а також кабель, по якому ми будемо одержувати продукт життєдіяльності «крота» – електроенергію.

Пропускаючи крізь себе вугільний пласт товщиною 0,7-1 м, «крот» буде пересуватись зі швидкістю декілька метрів за годину і видавати декілька десятків мегават електроенергії. Нема потреби говорити, що управління кротом візьме на себе комп'ютер, а роль шахтарів буде зведена до проходки стовбурів та підготовчих виробок. Вже сьогодні нема ніяких принципових обмежень для створення такого комплексу. На відміну від різних схем підземноїгазифікації цей спосіб одержання енергії цілком контрольований і екологічно безпечний.

УДК 550.37:622.834

Т.А. Паламарчук

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПРЕДПОСЫЛКИ ПРИМЕНЕНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПОЛЕЙ ДЛЯ КОНТРОЛЯ СОСТОЯНИЯ ПЛОСКОПАРАЛЛЕЛЬНЫХ СТРУКТУР

Электрометрические методы позволяют получать необходимую информацию о состоянии исследуемого объекта без нарушения его сплошности и основаны на известном явлении изменения электросопротивления среды от изменения влажности, степени трещиноватости, пористости, а также величины приложенной нагрузки. Известно, что при получении информации о состоянии исследуемого объекта применяют как искусственные, так и естественные электрические поля. И тот, и другой методы достаточно хорошо работают в тех или иных условиях.

В результате лабораторных исследований [1] получены зависимости удельного электрического сопротивления горных пород от влажности. Установлено, что при малых значениях влажности сопротивление меняется более резко, чем при больших,

а также выявлена значительная зависимость сопротивления исследуемых образцов от температуры: при увеличении температуры сопротивление образца падает. А натурные исследования [2-4] многих авторов показывают, что в конкретной геологической обстановке между указанными свойствами горных пород наблюдаются связи корреляционного характера с достаточно высоким коэффициентом корреляции.

Предложены аппаратура [5] и способ [6] определения трещиноватости массива горных пород, включающий измерение удельных электрических проводимостей массива и заполнителя трещин, отличающийся тем, что с целью повышения точности определения после измерения проводимостей нагнетают в массив раствор электролита с иной проводимостью и повторно измеряют удельную проводимость массива, а параметры трещиноватости рассчитывают по соотношению измеренных величин. Расчет открытой трещиноватости определяют по соотношению

$$m = \frac{\sigma_2 - \sigma_1}{\sigma_3 + 0,5\sigma_1}, \quad (1)$$

где σ_1 и σ_2 – удельные проводимости контролируемой среды до и после нагнетания раствора электролита; σ_3 – удельная проводимость электролита.

Коэффициент пористости обводненной среды определяют по формуле:

$$m' = \frac{\sigma_2 - \sigma_1}{\sigma_3 - \sigma_4}, \quad (2)$$

где σ_4 – удельная проводимость заполнителя трещин.

Эти формулы, выраженные через величины удельного сопротивления, запишутся следующим образом:

$$m = \frac{2\rho_3(\rho_1 - \rho_2)}{\rho_2(2\rho_1 + \rho_3)}, \quad (3)$$

$$m' = \frac{\rho_3\rho_4(\rho_1 - \rho_2)}{\rho_1\rho_2(\rho_4 + \rho_3)}$$

Для количественной оценки трещиноватости удобно воспользоваться коэффициентом разрыхления горных пород [7,8], который определяется по формуле Лихтенеккера

$$\lg \rho = D_1 \lg \rho_1 + D_2 \lg \rho_2, \quad (4)$$

где ρ – измеренное удельное электросопротивление; ρ_1 – удельное электросопротивление ненарушенной среды; ρ_2 – удельное электросопротивление заполнителя трещин;

$$D_1 = \frac{V_0}{V_0 + \Delta V}, \quad D_2 = \frac{\Delta V}{V_0 + \Delta V}, \quad (4)$$

ΔV – объем трещинного пространства; V_0 – объем ненарушенного массива.

Так как $\Delta V \ll V_0$, то для простоты можно принять $D_1 = 1$; $D_2 = \frac{\Delta V}{V_0}$. Обозначим коэффициент разрыхления через $K_p \equiv D_2$.

Таким образом, выражение для коэффициента разрыхления исследуемой среды принимает вид:

$$K_p = \frac{\lg \rho - \lg \rho_1}{\lg \rho_2}. \quad (6)$$

Для ненарушенной среды коэффициент разрыхления $K_p = 0$ ($\rho = \rho_1$). При возрастании трещиноватости среды возрастает ее удельное электросопротивление, следовательно, возрастает и коэффициент разрыхления.

С целью теоретического обоснования применения электрометрического метода для диагностики состояния плоскопараллельных структур рассмотрена задача об определении эффективного удельного электрического сопротивления среды, состоящей из пачек трехслойной среды со слоями, толщина которых h_1, h_2, h_3 , а удельное электрическое сопротивление – $\rho'_1, \rho'_2, \rho'_3$.

В соответствии со свойствами аддитивности потенциальной функции поля в некоторой точке M , расположенной на расстоянии r_1 от электрода A и r_2 – от электрода B , определяется как сумма полей, создаваемых каждым электродом.

$$U = U_1 + U_2. \quad (7)$$

Нахождение потенциала для каждого электрода сводится к решению уравнения Лапласа, а затем, воспользовавшись известными соотношениями

$$E = \frac{\partial U}{\partial r}, \quad \rho_k = \frac{\pi}{I} \cdot \frac{r^2}{2} E \quad (\text{где } r \text{ – расстояние от источника до места исследования; } I \text{ –}$$

величина постоянного поля; E – напряженность электрического поля), получим следующее выражение для кажущегося электрического сопротивления ρ_k [8,9].

$$\rho_K = \frac{\rho_1'}{4} \left(1 + \frac{2(\rho_2' - \rho_1')(3K \pm \sigma)}{9K^2(\rho_1' + \rho_2')^2} r^2 \sum (-1)^{i+1} (2r_i' + (-1)^i 3L \cos \varphi) \times \right. \\ \left. \times \left(\frac{(\rho_1' + \rho_i')^2}{(4h_1^2 + r_i'^2)^{\frac{3}{2}}} + \frac{\rho_1'^2 + 2\rho_1'\rho_i' - 3\rho_i'^2}{(16h_2^2 + r_i'^2)^{\frac{3}{2}}} \right) \right) \quad (8)$$

$$r_i'^2 = (r \pm \sigma/3K) + L^2/4 + (-1)^i (r \pm \sigma/3K), \quad i = 1, 2,$$

где K – модуль всестороннего сжатия; σ – величина механических напряжений, действующих в данном направлении.

Теперь определим зависимости для удельных электрических сопротивлений ρ_1' и ρ_2' в трещиноватой увлажненной среде. Для этого воспользуемся уравнениями, полученными на основе результатов [10]. При этом рассмотрим два случая: случай не слишком влажных грунтов, с коэффициентом водонасыщения $K_v < 0,8$ и сильно водонасыщенных грунтов с $K_v > 0,8$. Коэффициент водонасыщения определяется следующим образом:

$$K_v = \frac{W\gamma(1-n)}{n} \quad (9)$$

где W – влажность грунтов, рассчитывается на единицу сухой массы в долях единицы; γ – отношение удельного веса грунтов к удельному весу воды; n – пористость грунтов.

Для грунтов не слишком влажных с $K_v < 0,8$ выражение для удельного электрического сопротивления запишется следующим образом:

$$\rho_i' = \frac{2\sqrt{3}(1 \pm \sigma/3K)^{\frac{3}{2}} \rho_o' \rho_c'}{\pi(1 - \epsilon_i)^2 \sqrt{3\rho_o'^2(1 \pm \sigma/3K) + 2\rho_o'\rho_c'W\gamma}} \times \\ \times \ln \frac{\sqrt{3\rho_o'(1 \pm \sigma/3K) + 2\rho_c'W\gamma} + \sqrt{3\rho_o'(1 \pm \sigma/3K)(1 + \epsilon_i)^2}}{\sqrt{3\rho_o'(1 \pm \sigma/3K) + 2\rho_c'W\gamma} - \sqrt{3\rho_o'(1 \pm \sigma/3K)(1 + \epsilon_i)^2}} \quad (10)$$

Для влагонасыщенных грунтов с коэффициентом водонасыщения $K_v > 0,8$

$$\rho_i' = \frac{2(1 \pm \sigma/3K)\rho_o'\rho_c'}{\pi(1 - \epsilon_i)^2 \sqrt{3\rho_o'^2 + 3,2n\rho_o'\rho_c'}} \times \\ \times \ln \frac{\sqrt{\pi\rho_o' + 3,2n\rho_c'} + \sqrt{\pi\rho_o'(1 + \epsilon_i)^2}}{\sqrt{\pi\rho_o' + n3,2\rho_c'} - \sqrt{\pi\rho_o'(1 + \epsilon_i)^2}}, \quad (i = 1, 2) \quad (11)$$

где ρ_w и ρ_s – удельное электрическое сопротивление воды в порах и минерального скелета, соответственно, ϵ_r – относительное изменение длины.

Подставляя (10) или (11) в уравнение (8), получим аналитическую связь между кажущимся электрическим сопротивлением горных пород или любого другого объекта и их свойствами и состоянием. Как следует из полученных формул, кажущееся сопротивление функционально связано с влажностью, пористостью, а также деформационными параметрами, а значит и трещиноватостью среды.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Глушко В.Т., Яланский А.А. Экспресс-метод замера влажности горных пород в лабораторных условиях электрическими влагомерами // Реферативная информация. – К.: Наук. Думка, 1969. – 14 с.
2. Усаченко Б.М., Кириченко В.Я., Шмиголь А.В. Охрана подготовительных выработок глубоких горизонтов Западного Донбасса. – М.: 1990. – 168 с.
3. К вопросу оценки напряжений в массиве на базе электрометрии // Рудничная геоэлектрика / А.А. Борисов, Э.Х. Вишняков, В.А. Маркина, И.А. Лившиц. – 1977, – Вып. 1. – С. 46-52.
4. Пархоменко Э.Л. Электрические свойства горных пород. – М.: Наука, 1965. – 164 с.
5. А.с. 168777, МКИ⁴ Е 21/С 39/00. Устройство для измерения параметров / Ю.З. Заславский, Е.П. Пирогов, В.В. Ковисов и др. (СССР). – № 4623748/03; Заявл. 22.12.88, Оpubл. 30.10.91, Бюл. № 46.
6. А.с. 148400, МКИ⁴ Е 21/С 39/09. Способ определения трещиноватости горных пород / В.Н. Попов, Р.Ш. Бекзантаев, А.В. Попов (СССР). – № 4301612/23-03; Заявл. 09.09.87, Оpubл. 23.03.89, Бюл. № 19.
7. Зборщик М.П., Малярчук А.М., Морозов А.Ф. К оценке влияния наведенной трещиноватости горных пород на их электросопротивление // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. – 1979. – № 5. – С. 109-112.
8. Паламарчук Т.А. Исследование массива слоистых горных пород и разработка основ метода комплексного контроля их свойств и состояния. Дис. канд. техн. наук: 01.02.07 – Днепропетровск, 1980. – 154 с.

9. Глушко В.Г., Ямицкий В.С., Яланский А.А. Геофизический контроль в шахтах и тоннелях. – М.: Недра, 1987. – 278 с.
10. Тарасов Б.Г., Дырдин В.В., Иванов В.В. Геоэлектрический контроль состояния массивов. – М.: Недра, 1983. – 216 с.

УДК 622.322:622.272.63

В.В. Зборовский, Е.А. Воробьев, В.Н. Жмыхов

К ВОПРОСУ ОТРАБОТКИ ВЫБРОСООПАСНЫХ УГОЛЬНЫХ ПЛАСТОВ ЩИТОВЫМИ АГРЕГАТАМИ

Опыт работы выбросоопасных пластов полосами по падению щитовыми агрегатами показал, что данная технология уже не обеспечивает эффективную и безопасную их отработку, особенно в сложных горно-геологических условиях, где имеют место случаи выбросов угля и газа с тяжелыми последствиями. Это является существенным препятствием для повышения эффективности и механизации очистных работ.

В ИГТМ НАН Украины выполнен комплекс исследований метода гидродинамического воздействия и разработанных на его базе способов борьбы с газодинамическими явлениями при отработке крутопадающих выбросоопасных пластов, на основании которых установлены его высокая надежность и эффективность [1].

Комплекс исследований по изучению влияния гидродинамического воздействия на выбросоопасные угольные пласты при их отработке щитовыми агрегатами выполнен на 16 участках семи шахт Центрального района Донбасса (ЦРД) [2].

При промышленных испытаниях способа дегазации и снижения выбросоопасности в нижней части полос, обрабатываемых щитовыми агрегатами, гидродинамическим воздействием через скважины (далее «Способ...») выполнены инструментальные измерения: газовыделения в очистном забое до и после применения «Способа...»; газодинамической активности угольных пластов; скорости продвижения очистного забоя и нагрузки на щитовой агрегат.

На исследуемых пластах λ_3 - «Мазурка», λ_6 - «Известнячка», k_5^1 - «Подпяток», k_5^2 - «Пята», m_3 - «Голетый», λ_4^H - «Девятка», k_3 - «Дерезовка» изучены горно-геологические условия и технология их отработки, а также установлено следующее. Все пласты опасные по внезапным выбросам угля и газа, сложного строения от двух до пяти пачек, общей мощностью от 0,1 до 1,6 м., обрабатываются под час-