

– максимальное значение газовыделения.

Следует заключить, что использование 3-интегрированного макро-прогноза в данном случае неоправданно, поскольку его инерционность, определяемая периодом обработки данных, превышает динамику газокинетических процессов в пласте. На данном этапе отработки лавы целесообразен переход на мало инерционные 1- и 2-интегрированные макро-прогнозы.

Таким образом, проанализированы 13 параметров картины аэrogазовой обстановки выемочного участка с позиций их использования в качестве факторов прогноза, выявляющих тенденции в ее развитии. Обосновано использование простых квадратичных зависимостей для целей текущего

скользящего прогноза по времени или/и по нагрузке на очистной забой, достаточных для отслеживания темпа параметров картины АГО. Построена процедура скользящего уточнения текущих прогнозов и сформулированы ограничения на период прогноза. Разработаны два типа сценариев прогноза – однофакторный временной прогноз, включающий десять разновременных сценариев прогноза, и двухфакторный по нагрузке и времени, включающий пять сценариев интегрированных прогнозов. Построенные сценарии полностью обеспечивают выявление тенденций в картине аэrogазовой обстановки и их прогнозирование на разную перспективу по времени и нагрузке на очистной забой.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Преслер В.Т., Золотых С.С., Стекольщиков Г.Г. Оперативный прогноз газообильности выемочных участков при комбинированном проветривании. – Кемерово: Кузбассвяздат, 2001. – 63 с.

Автор статьи:

Преслер  
Вильгельм Теобальдович  
- докт.техн.наук, ведущий научный  
сотрудник Института угля и углехи-  
мии СО РАН, проф. каф. ИиАПС

**УДК 550.837:622.02**

**В.П. Корабельников**

## ОБ ОЦЕНКЕ ПРОЧНОСТИ ПОРОД ТРУДНООБРУШАЕМОЙ КРОВЛИ ПО ГЕОЭЛЕКТРИЧЕСКИМ ПАРАМЕТРАМ ЕЕ СЛОЕВ

В условиях изменяющегося строения кровли необходима доразведка угольного пласта с поверхности или из горных выработок, оконтуривающих подготовляемый к отработке выемочный столб. По результатам доразведки в выемочном столбе можно выделить участки с труднообрушаемой кровлей. Для этого по керну скважин определяется прочность  $\sigma_{cjk}$  пород, слагающих кровлю.

Чтобы уменьшить объем бурения, применяют геофизические методы доразведки. Например,  $\sigma_{cjk}$  оценивают по удельному электросопротивлению (УЭС)  $\rho$  породных слоев [1]. Однако для прочных пород погрешность определения  $\sigma_{cjk}$  увеличивается. Оценку  $\sigma_{cjk}$  можно улучшить, если дополнить  $\rho$  измерением других геоэлектрических параметров

кровли.

Прочность керновых образцов песчаника связывается с процентным содержанием в породе кварцевых зерен, диаметром  $D$  зерна, а также с вещественным составом цемента и его распределением в порах [2]. С изменением  $D$  изменяется отношение  $S_{sep}/V_{sep} \sim 1/D$ . При увеличении  $D$  отношение уменьшается, а  $\rho$  и  $\sigma_{cjk}$  увеличиваются.

Изменение состава цемента в сторону замещения глинистой компоненты на карбонатную или кремнистую, может повысить прочность породы на 50 % и мало изменит  $\rho$  при сохранении пористости. В качестве показателя, учитывающего влияние цемента на  $\sigma_{cjk}$  пород, в данной работе предлагается использовать наблюдаемое в массиве уменьшение УЭС на

начальном участке нагружения породного слоя кровли опорным давлением  $\sigma_z > 1.3 \mu H$  при  $H > 150$  м.

Уменьшение  $\rho$  можно объяснить тем, что в местах контакта зерен породы уже при начальных приращениях  $\Delta\sigma_z$  в 5-7 МПа вследствие концентрации напряжений возможны заметные деформации и изменения. Влага – электролит из пояска контакта перераспределяется в соседнюю область поверхности зерна, увеличивая токопроводящую часть поверхности пор породы и уменьшая ее УЭС. При деформации «выдавливание» цемента из промежутка контакта уменьшает кривизну границы жидкости, что также вызывает ее перемещение из малой области контакта зерен.

Для получения экспериментальных зависимостей  $\rho$  от  $\sigma_z$ , в

конвейерном штреке выемочного столба проводят несколько коротких профилей измерения УЭС, которые соответствуют породным слоям в кровле пласта на глубине 5-10 м. Очистной забой находится на расстоянии 25-35 метров от профилей. После приближения забоя изменения повторяются через каждые 5-7 м, пока  $\sigma_z$  не увеличится на 50-80%. Наблюдения проведены на пл. 7-7а и 11 ш. «Распадская» с глубиной отработки 150-250 м. УЭС  $\rho$  измерялось трехточечными установками электроизондирования прибором КП-2 [1]. Примеры полученных зависимостей относительного уменьшения  $\Delta\rho/\rho_{\gamma H}$  УЭС слоев песчаника с различным цементом показаны на рисунке.

Чтобы перейти к зависимости  $Y$  от приращения напряжений  $\Delta\sigma_z = \sigma_z - \gamma H$ , необходимо определиться с видом связи  $\sigma_z$  и  $L$ . Можно, например, принять экспоненциальный закон убывания дополнительных напряжений в кровле:

$$\Delta\sigma_z = (K-1)\gamma H \cdot e^{-L/\lambda}.$$

Как показывают графики (рисунок), уже с расстояния  $L=20$  м значения  $Y$  отличаются на кривых с различным цементом в несколько раз. Отмеченное свойство кривых указывает на возможность использовать при оценке  $\sigma_{cjk}$  показатель  $(\Delta\rho)_{L=L^*}$  как геоэлектрический параметр слоя, отражающий влияние цемента породы на ее прочность. Расстояние до забоя  $L^*$  принимается равным 15-25 м.

Прочность пород труднообрушаемой кровли вычислялась по уравнению линейной регрессии

$\sigma_{cjk} = \alpha_0 + \alpha_1 \rho + \alpha_2 \tau$ , (1)  
где  $\rho = \rho_{\gamma H}$  – УЭС породного слоя, измеренное до приближения очистного забоя к месту замера на 50-60 м;  $\tau = (\Delta\rho)_{L=L^*}$  – абсолютное уменьшение  $\rho$  по-

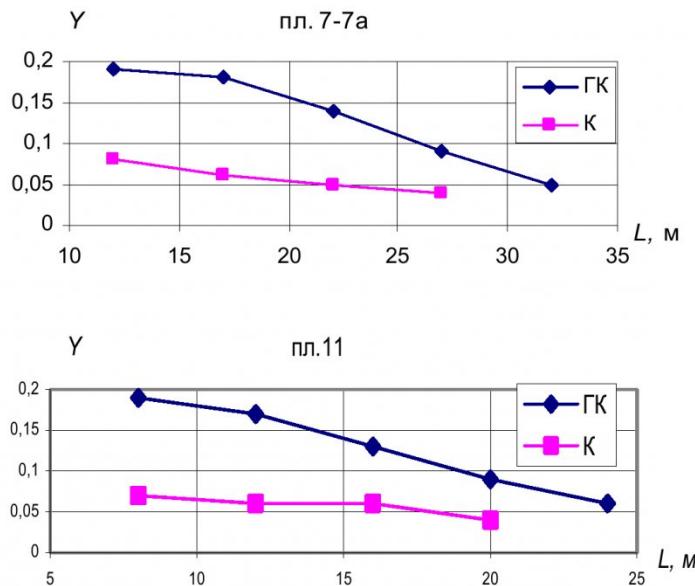


Рис.1. Изменение УЭС породного слоя кровли при изменении расстояния  $L$  до очистного забоя для песчаников с глинистокарбонатным (ГК) и карбонатным (К) цементом:  
 $Y = \Delta\rho/\rho_{\gamma H}$ ;  $\Delta\rho = \rho - \rho_{\gamma H}$ ;  $\rho_{\gamma H}$  – УЭС слоя при  $L \geq 50$  м.

сле приближения забоя до расстояния  $L^*$ .

Коэффициенты уравнения (1) оценивались по выборке в 8-10 значений ( $\rho_i$ ,  $\tau_i$ ,  $\sigma_{cjk}^i$ ) из набора данных по имеющейся сети геологоразведочных скважин на смежном отработанном выемочном столбе. Включение элемента набора в выборку определялось близостью  $\rho_i$  и  $\tau_i$  к значениям параметров  $\rho$  и  $\tau$ , для которых по уравнению (1) оценивалась прочность  $\sigma_{cjk}$ . Порядок величин в (1) виден на примере уравнения, полученного для кровли пл.11:

$$\sigma_{cjk} = 46 + 0.70\rho - 3.3\tau.$$

Вместе с уравнением регрессии были построены доверительные интервалы для  $\sigma_{cjk}$  и коэффициентов  $\alpha_1$ ,  $\alpha_2$ ; также вычислялся множественный коэффициент корреляции – коэффициент детерминации  $R^2$  [3].

Проведенный по пластам 7-7а и 11 статистический анализ позволил сделать следующие

выводы в интервалах значений  $H > 150$  м;  $60 \leq \rho \leq 110$  Ом·м;  $2 \leq \tau \leq 25$  Ом·м:

- коэффициенты  $\alpha_1$  и  $\alpha_2$  в уравнении (1) статистически значимы, а гипотеза о равенстве  $\alpha_1$  и  $\alpha_2$  нулю отклоняется (на 5% уровня значимости);

- коэффициент детерминации  $R^2$  для (1) не меньше, чем 0,6 (пл. 7-7а) и 0,7 (пл. 11);

- доверительные интервалы для  $\sigma_{cjk}$  определяют  $\sigma_{cjk}$  с ошибкой не более 15-20% (при доверительной вероятности 0,9).

Таким образом, включение в модель (1) параметра  $\tau = (\Delta\rho)_{L=L^*}$  обоснованно, а точность и надежность оценки  $\sigma_{cjk}$  по параметрам  $\rho$  и  $\tau$  достаточны для использования предложенного способа определения  $\sigma_{cjk}$  при выделении в выемочных столбах участков с труднообрушаемой кровлей по редкой сети разведочных скважин подземного бурения.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Тарасов Б. Г., Дырдин В. В., Иванов В. В. Геоэлектрический контроль состояния массивов. – М.: Недра, 1983. – 216 с.

2. Штумпф Г.Г., Рыжков Ю.А., Шаламанов В.А. и др. Физико-технические свойства горных пород и углей Кузнецкого бассейна : Справочник.–М.: Недра, 1994. – 447 с.

3. Справочник по прикладной статистике./ Под ред. Э. Ллойда, У. Ледермана. – М.: Финансы и статистика, 1990. Т.1. 526 с.

УДК 550.837

В.П. Корабельников

## ОСОБЕННОСТИ ПОДЗЕМНОЙ ЭЛЕКТРОМЕТРИИ В ШТРЕКАХ С РАССЛОИВШЕЙСЯ КРОВЛЕЙ

В подземной электrorазведке применяются различные методы определения строения кровли угольных пластов. В частности, мощность пород непосредственной кровли можно определять по данным электрофильтрования (ЭП) в штреках, оконтуривающих выемочный столб пласта [1].

На отдельных участках подготовительные выработки пласта имеют нарушенную кровлю, ослабленную трещинами и расслоением пород. В этом случае известная геоэлектрическая модель кровли, состоящая из нескольких однородных плоских проводящих слоев, должна быть дополнена примыкающей к выработке областью повышенного удельного электросопротивления (УЭС). Эта область представит в модели расслоившуюся кровлю штрука.

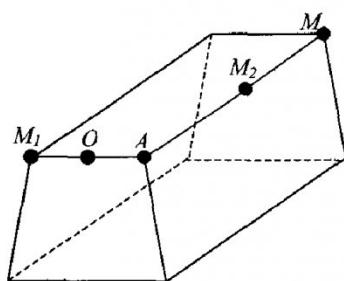


Рис. 1. Схема измерения потенциала  $V$  в штреке:  $M, M_1, M_2$  – точки замера  $V$ ;  $A$  – токовый электрод;  $O$  – начало системы координат

В данной работе проведен расчет потенциала  $V$  поля точечного источника тока с учетом нарушенной кровли штрука и с помощью  $V$  определена величина его относительного изменения  $\delta_V = (V - V_0)/V_0$ , вы-

званного расслоением пород. Здесь  $V_0$  – потенциал поля в неизмененной кровле.

Проведем расчет  $V$  с источником тока  $A$  силой  $I$ , расположенным на границе угольного пласта и нарушенной области кровли штрука (рис.1). Наруженная область моделируется полуцилиндром с УЭС, равным  $\rho$ . УЭС породы за пределами расслоений обозначим  $\rho_0$ . Так как УЭС угольного пласта на 1-2 порядка выше, чем  $\rho_0$ , то по принципу отражения задача определения  $V$  сводится к расчету потенциала источника силой  $2I$ , расположенного на поверхности цилиндра с УЭС  $\rho$ , вне которого среда имеет сопротивление  $\rho_0$ . После решения краевой задачи (например, разделением переменных), можно получить выражение потенциала  $V$  через интегралы от модифицированных цилиндрических функций [2]. В цилиндрических координатах ( $r, \varphi, z$ )

приходим к следующей формуле для расчета  $V$  на поверхности цилиндра радиуса  $r=1$ :

$$V = V(I, \varphi, z) = 2V_0 p \times$$

$$\left[ \frac{1}{1+p} - \frac{L}{\pi} \sum_{n=0}^{\infty} a_n U_n(z) \cos(n\varphi) \right] \quad (1)$$

где

$$U_n(z) = \int_0^{\infty} I_n(t) K_n(t) \times \\ \left[ 2(1+p)^{-1} - \{1+(p-1) \times \right. \\ \left. (tK_{n-1}(t)+nK_n(t))I_n(t)\}^{-1} \right] \times \\ \times \cos(tz) dt,$$

$I_n(t), K_n(t)$  – модифицированные функции Бесселя  $n$ -го порядка,  $p = \rho/\rho_0$ ,  $a_0 = 1$ ,  $a_n = 2$ ,  $n > 0$ ,  $L = AM$ ,  $A(1, \varphi, 0)$ ,  $M(1, \varphi, z)$ .

По формуле (1) были рассчитаны потенциалы  $V = V(1, 0, z)$ ,  $V_1 = V(1, \pi, 0)$  и вы-

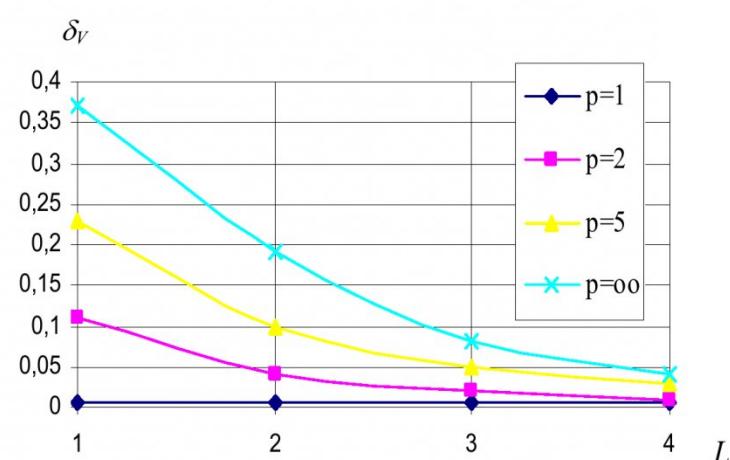


Рис. 2. Зависимость погрешности  $\delta_V$  от расстояния  $L$  при различных значениях отношения  $p = \rho/\rho_0$