Записки Ленинградского орденов Ленина и Трудового Красного Знамени горного института им. Г. В. Плеханова, т. XXXIX, вып. 2, 1961 г.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ УДЕЛЬНОГО ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ ГОРНЫХ ПОРОД МЕТОДОМ РЕГИСТРАЦИИ ТОКА

Г. А. Черменский

Метод регистрации тока основан на изучении электропроводности горных пород с помощью электрода, перемещающегося в буровом растворе вдоль оси скважины (рис. 1). Наиболее широко он используется для определения местоположения рудных тел в геологических разрезах скважин и расчленения этих разрезов.

В СССР этот метод применяется с 1932 г. по рекомендации Л. Я. Нестерова. Однако теоретические возможности применения метода для определения удельного сопротивления горных пород еще не установлены.

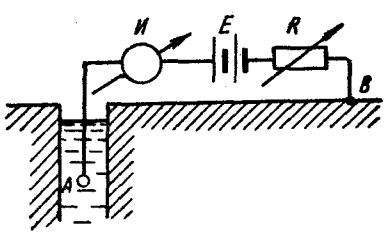


Рис. 1. Блок-схема метода регистрации тока:
И — индикатор тока; *E* — батарея (источник тока); *R* — регулируемое сопротивление; *A*, *B* — электроды

В данной статье рассмотрены возможности метода регистрации тока для определения удельного электрического сопротивления горных пород; установлена количественная связь между погрешностями, искажающими диаграммы тока, и элементами электрической схемы.

Электрическая схема метода регистрации тока в основном состоит из электрода *A*, опускаемого в скважину на одной жиле кабеля, к которой последовательно подключены индикатор и источник тока, балластное регулируемое сопротивление и электрод *B*, находящийся на земной поверхности (см. рис. 1).

Сила тока в цепи *AB*

$$I = \frac{E + E_{\Sigma}}{R_{б} + R_{к} + R_{И} + R_{E} + R_{A} + R_{B}}, \qquad (1)$$

где E — э. д. с. батареи (источника тока);

E_{Σ} — суммарная э. д. с. поляризации электродов, естественного электрического поля и пр.;

$R_{б}$, $R_{к}$, $R_{И}$, R_{E}, R_{A}, R_{B} — сопротивления соответственно балластное, кабеля, индикатора тока, источника тока и сопротивления заземления электродов *A* и *B*.

Изменение силы тока в цепи AB при постоянстве э. д. с. и сопротивлений $R_б$, $R_к$, $R_И$, R_E, R_A зависит от изменения сопротивления электрода A, которое, в свою очередь, зависит от сопротивления окружающих электрод пород. Одним из способов уменьшения влияния изменения сопротивлений $R_к$, $R_И$, R_E и R_B на конфигурацию диаграмм регистрации тока является использование большого балластного сопротивления. Значение последнего, как показано ниже, не может быть любым.

Большое искажение диаграмм тока может вызваться также изменяющимися во времени и по размеру скважин естественными электрическими полями, блуждающими токами, электродными потенциалами и прочими переменными э. д. с. Для уменьшения их влияния используют источники тока, обладающие значительными электродвижущими силами, переменные токи и соответствующие фильтры. Вследствие этого аппаратура метода становится более сложной, оборудование — громоздким и исчезает основное преимущество метода — простота.

Если считать $E_Σ = 0$ и $R_б + R_к + R_И + R_E + R_B$ равным постоянной величине C, то выражение (1) можно переписать в следующем виде:

$$I = \frac{E}{C + R_A}. \tag{2}$$

При $R_A = 0$ сила тока в цепи AB будет максимальной:

$$I_{max} = \frac{E}{C}. \tag{3}$$

Подставив выражение (3) в формулу (2), получим

$$\frac{I}{I_{max}} = \frac{1}{1 + \frac{R_A}{C}}, \tag{4}$$

т. е. изменение силы тока в цепи AB зависит только от изменения сопротивления заземления электрода A.

Выражение (4) позволяет установить, в каких пределах допустимо изменение величины $\frac{I}{I_{max}}$, а также и величины $\frac{R_A}{C}$ при существующих погрешностях, искажающих диаграммы тока.

Зависимость (4) для наглядности представлена в виде кривой на рис. 2. Как видно, кривая асимптотически приближается к единице с уменьшением значений $\frac{R_A}{C}$. Следовательно, определение удельного электрического сопротивления горных пород по диаграммам тока становится менее уверенным для очень малых значений $\frac{R_A}{C}$. Если считать, например, что относительная погрешность, искажающая диаграммы тока, равна $\pm 5\%$ и уверенными наблюдениями будут такие, которые превышают удвоенную погрешность, то допустимые изменения тока I окажутся в пределах $(0{,}1 \div 0{,}9) I_{max}$. Этим изменениям соответствует изменение величины $\frac{R_A}{C}$ от 0,1 до 9 (см. рис. 2, участок кривой, лежащий

между пунктирными линиями). При большей погрешности допустимые пределы изменения тока и изменения сопротивления заземления электрода A будут соответственно уже и вместе с тем соответственно уже возможности определения удельного сопротивления горных пород по диаграммам тока.

Пределы изменения сопротивления заземления электрода A позволяют определить значение величины C. Так, например, при относительной погрешности $\pm 5\%$ сопротивление цепи AB без сопротивления заземления электрода A

$$C = (10 + 0{,}11)\, R_A.$$

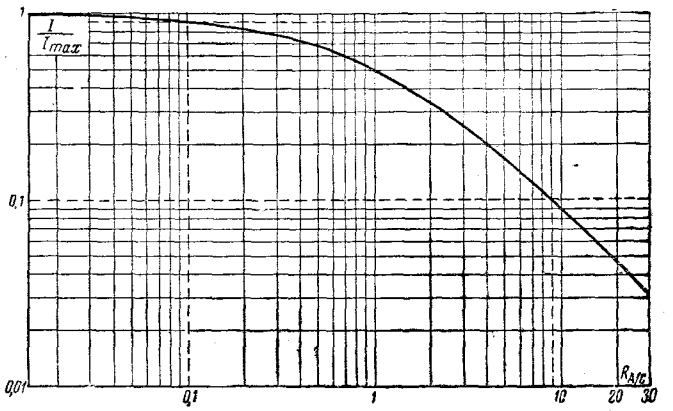


Рис. 2. Зависимость $\frac{I}{I_{\max}}$ от $\frac{R_A}{C}$

Задаваясь минимально допустимым для каждого геологического района сопротивлением заземления электрода A, получаем

$$C = 10 R_A.$$

Это выражение ограничивает возможности использования больших балластных сопротивлений и вынуждает применять электрические цепи сравнительно низкого сопротивления. В связи с этим повышаются требования, предъявляемые к стабильности сопротивлений отдельных участков цепи тока.

В выражение (4) входит величина R_A, а не сопротивление горных пород. Для перехода от сопротивления заземления электрода A к удельному электрическому сопротивлению горных пород необходимо установить зависимость между этими величинами. Эта зависимость очень сложная, так как сопротивление заземления электрода A, находящегося в скважине, зависит от формы и размера электрода, положения его в скважине, диаметра скважины, сопротивлений контактного [1], бурового раствора и горных пород, расположенных вблизи электрода, и прочих факторов, влияющих на сопротивление заземления электрода A, поэтому для упрощения задачи рассмотрим электрод с поверхностью, эквивалентной эквипотенциальной поверхности точечного источника тока, расположенного в однородном буровом растворе на оси цилиндрической скважины, пройденной в однородных и изотропных горных породах. Эта поверхность имеет форму шара при удельном сопротивлении бурового раствора, равном удельному сопротивлению горных пород. При умень-

шении удельного сопротивления бурового раствора шаровая поверхность несколько сжимается. При этом сжатие направлено по оси скважины к центру электрода. Выражение сопротивления заземления рассматриваемого электрода может быть получено из [2] после элементарных преобразований:

$$R_A = \frac{\rho_c}{2\pi d_c}(1+\alpha)\int_0^\infty \frac{T_0(\bar{t}\bar{r})\, e^{-t\bar{z}}dt}{[1-\alpha t I_1(t)\, k_0(it)]^2}, \qquad (5)$$

где $\alpha = \frac{\rho_п}{\rho_c}$;

$\rho_п$ и ρ_c — удельное электрическое сопротивление горных пород и бурового раствора;

d_c — диаметр скважины;

$T_0(\bar{t}\bar{r})$, $I_1(t)$, $k_0(it)$ — функция Бесселя первого и второго родов;

$$\bar{z} = \frac{2z}{d_c}; \quad \bar{r} = \frac{2r}{d_c};$$

z и r — расстояния от начала координат (от центра электрода) соответственно по оси скважины и по направлению, перпендикулярному скважине.

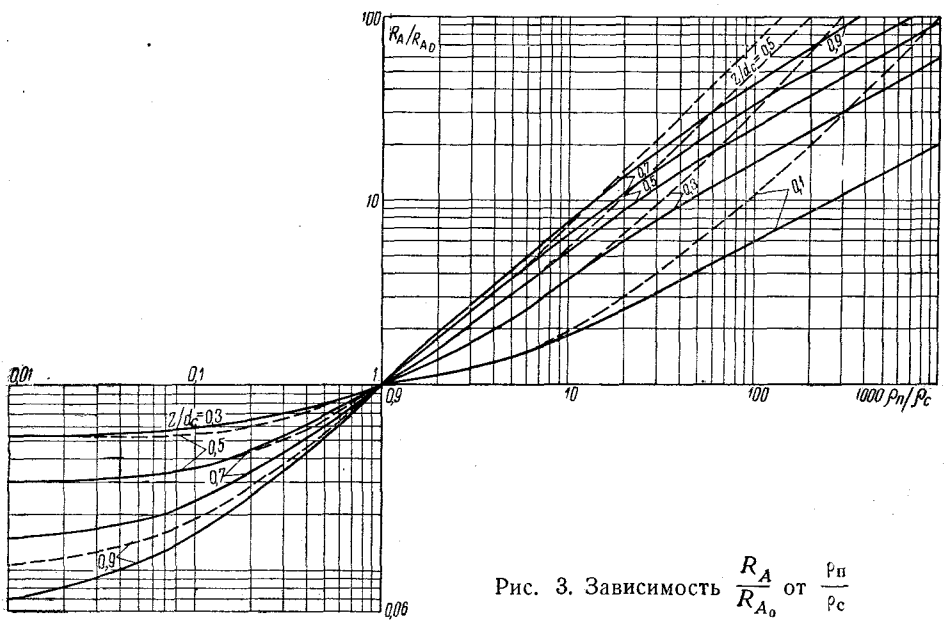


Рис. 3. Зависимость $\frac{R_A}{R_{A_0}}$ от $\frac{\rho_п}{\rho_c}$

Сопротивление заземления рассматриваемого электрода зависит от $\frac{z}{d_c}$ и $\frac{\rho_п}{\rho_c}$, поэтому выражению (5) можно придать вид:

$$\frac{R_A}{R_{A_0}} = f\left(\frac{z}{d_c};\ \frac{\rho_п}{\rho_c}\right) \quad r=0, \qquad (6)$$

где $R_{A_0} = \frac{\rho_c}{2\pi d_c}$ — сопротивление заземления шарового электрода в однородной среде, т. е. при $\rho_п = \rho_c$.

Зависимость (6) приведена на рис. 3. Там же нанесены пунктирные кривые для сферического электрода диаметром $\bar{z}$, помещенного в центре

сферического объема с сопротивлением ρ_c и диаметром d_c, окруженного безграничной средой с сопротивлением $\rho_п$.

Кривые обоих электродов в интервале изменения удельного сопротивления горных пород от 0,7 до $4\rho_c$ практически совпадают. Этот интервал несколько расширяется при помещении шарового электрода в скважину в связи с понижением сопротивления заземления. В таком интервале изменения $\rho_п$ при существующих погрешностях, искажающих диаграммы тока, и при использовании в скважинах сферических электродов для определения удельного сопротивления горных пород можно использовать зависимость (5) и кривые рис. 3. Для более точного определения удельного сопротивления горных пород по диаграммам тока необходимо уменьшить погрешности, искажающие диаграммы, и установить зависимости типа (6) для электродов применяемой формы и размеров. Такие зависимости могут быть получены электромоделированием.

Кривые $\frac{R_A}{R_{A_0}}$ при $\frac{z}{d_c} > 0{,}5$ в интервале от 1 до $20\frac{\rho_п}{\rho_c}$ практически прямолинейны. Изменение кривых в этом интервале можно выразить зависимостью

$$\frac{R_A}{R_{A_0}} = \left(\frac{\rho_п}{\rho_c}\right)^{C_1}.$$

Значение показателя степени C_1 тем больше, чем больше размеры электрода. Для $\frac{z}{d_c} = 0{,}5$ $C_1 = 0{,}735$. При таком значении C_1 и $R_A = 10R_{A_0}$ максимальное удельное сопротивление горных пород, которое может быть определено по диаграммам тока, зарегистрированным с погрешностью в $\pm 5\%$, не превышает $23\rho_c$. Это значение при данных условиях можно считать верхним пределом изменения сопротивления горных пород, определяемого диаграммами тока. Нижний предел ограничен выполаживанием кривых $\frac{R_A}{R_{A_0}}$ при $\rho_п < 0{,}1\rho_c$. С выполаживанием кривых понижается точность определения удельного сопротивления горных пород и ограничивается возможность расчленения геологического разреза по диаграммам тока.

ЛИТЕРАТУРА

1. Мирошниченко Е. М. Изучение контактных сопротивлений в связи с применением методов СЭЗ и микро-СЭЗ при электрических исследованиях в скважинах. Труды МНИ, 1955, вып. 15.
2. Фок В. А. Теория определения сопротивления горных пород по способу каротажа. ГНТИ, 1933.