Записки Ленинградского орденов Ленина и Трудового Красного Знамени горного института им. Г. В. Плеханова, т. XLVI, вып. 2, 1963 г.

О ГЛУБИННОСТИ ИССЛЕДОВАНИЙ ПРИ АЭРОЭЛЕКТРОРАЗВЕДКЕ МЕТОДОМ БЕСКОНЕЧНО ДЛИННОГО КАБЕЛЯ

Г. А. Черменский

В методе бесконечно длинного кабеля (БДК) на приемное устройство, находящееся в районе рудного тела, действует суммарное магнитное поле, состоящее из первичного поля H_1, создаваемого кабелем, и вторичного поля H_2, возбуждаемого рудным объектом. В результате аномальное вторичное поле выделяется на фоне первичного.

Возможность обнаружения вторичного поля определяется минимальным достоверным отношением полей $\frac{H_2}{H_1}$, превышающим удвоенную относительную погрешность η:

$$\frac{H_2}{H_1} \geqslant 2\eta. \qquad (1)$$

Для приближенного определения глубинности метода можно использовать условие надежности наблюдений (1) и выражение [1—3]

$$H_2 = H_1 e^{-2\beta h}, \qquad (2)$$

где β — коэффициент поглощения средой энергии, распространяющейся от кабеля;

h — глубина залегания рудного тела относительно дневной поверхности.

Это выражение, справедливое для полей с плоским фронтом волны, характеризует ослабление первичного поля на пути распространения его в среде от дневной поверхности до рудного тела и от рудного тела до дневной поверхности.

Коэффициент поглощения

$$\beta = \frac{2\pi f}{c}\sqrt{\frac{\varepsilon\mu}{2}}\sqrt{\sqrt{1+\left(\frac{2}{\varepsilon\varphi f}\right)^2}-1}$$

зависит от частоты f, скорости распространения c электромагнитной энергии в пустоте, удельного электрического сопротивления ρ, диэлектрической ε и магнитной μ проницаемостей вмещающей рудные тела среды.

Возможность обнаружения вторичного поля определяется элементами залегания рудных тел, физическими свойствами их и вмещающих пород, а также особенностями используемой аппаратуры и прочими факторами [1—3].

На результаты измерений оказывает влияние неоднородность пород, слагающих геологический разрез, и точность измерения элементов поля.

Из выражений (2) и (1) глубинность метода

$$h = -\frac{1{,}15 \lg 2\eta}{\beta}. \qquad (3)$$

Согласно этому глубинность метода уменьшается до нуля при возрастании относительной погрешности до $\pm 0{,}5$ (рис. 1).

Выражение (3) при преобладании токов проводимости над токами смещения принимает вид

$$h = -\frac{0{,}58 \cdot 10^4}{\pi} \sqrt{\frac{\rho}{10\mu f}} \lg 2\eta, \qquad (4)$$

где h — в метрах при ρ — в омметрах; μ, ε и η — в относительных единицах.

Приведенные выражения глубинности метода просты для практического использования и справедливы в основном на большом расстоянии от источника поля, т. е. для полей с плоским фронтом волны. В действительности же приходится иметь дело с полями более сложными.

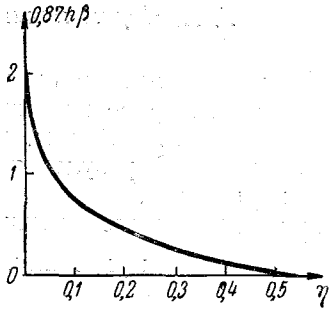


Рис. 1. Зависимость $h\beta$ от относительной погрешности

По методу БДК наблюдения производятся на относительно небольших расстояниях от рудного тела и кабеля. На таких расстояниях фронт волны далеко не плоский. Необходимо иметь в виду и ослабление поля, вызванное поглощением электромагнитной энергии средой и сдвиг фазы относительно тока в кабеле. Эти факторы, кстати, не учитываются указанным выше способом.

Рассмотрим следующее приближение. Как известно, метод БДК успешно используется для поисков и разведки рудных тел достаточно больших размеров на глубину, преимущественно удлиненной формы по простиранию и хорошей электропроводностью. В таких телах индуцируются токи, магнитные поля которых близки к полям линейных проводников, поэтому рассмотрим магнитное поле, создаваемое током частотой f, протекающим по линейному горизонтальному проводнику, залегающему на глубине h' под плоской дневной поверхностью в однородной изотропной среде с сопротивлением ρ.

Магнитное поле в точке измерения при преобладании токов проводимости над токами смещения [1]

$$H_2' = H_1' (R + iI), \qquad (5)$$

где $i = \sqrt{-1}$, R и I — сложные выражения в функциях Бесселя от

$$\xi' = 4 \cdot 10^{-4} \pi h' \sqrt{\frac{5\mu f}{\rho}}.$$

Здесь h' в метрах; ρ в омметрах; f в герцах; μ в относительных единицах.

При определении глубинности метода следует учитывать, что электромагнитная энергия поглощается как на пути от кабеля до проводника, так и от последнего до точки наблюдения. При расположении точки наблюдения над кабелем, под которым залегает жила с вертикальным падением, этот учет может производиться удвоением ξ'. Тогда

$$\xi = 2\xi' = 8 \cdot 10^{-4} \pi h' \sqrt{\frac{5\mu f}{\rho}}.$$

Отсюда

$$h' = \frac{1{,}25 \cdot 10^3 \xi}{\pi} \sqrt{\frac{\rho}{5\mu f}}. \qquad (6)$$

Из выражения (5)

$$\frac{H_2'}{H_1'} = R + iI,$$

где $H_1' = \frac{I^*}{ch'}$;

I^* — сила тока в кабеле.

Модуль этого выражения

$$m = \sqrt{R^2 + I^2} \qquad (7)$$

и сдвиг фазы

$$\psi = \operatorname{arctg} \frac{I}{R},$$

где m — одновременно поправочный множитель амплитуды, учитывающий поглощение электромагнитной энергии средой.

Зависимости m и ψ от ξ для вертикальной жилы достаточно больших размеров, залегающей под кабелем, приведена на рис. 2. Наиболее сложная зависимость здесь для m. Значения ее убывают с увеличением ξ и асимптотически приближаются к единице при ξ, стремящейся к нулю. Наибольшее изменение m наблюдается при $\xi > 0{,}5$. Угол сдвига фазы возрастает пропорционально ξ.

Используя эту зависимость, можно определить радиус зоны, в которой сдвиг фазы не превышает заданного значения. Так, например, для угла сдвига фазы меньше 5° при $\mu = 1$, $f = 2000$ *гц* и $\rho = 2000$ *ом·м* радиус зоны равен 29 *м*. При частоте $f = 5000$ *гц* и тех же значениях μ и ρ радиус зоны равен 13,9 *м*. Отсюда радиус зоны, в которой можно пренебречь сдвигом фазы, уменьшается с повышением частоты поля.

За этой зоной сдвиг фазы вызывает увеличение погрешностей, которые понижают глубинность метода БДК.

Приближенно глубинность метода БДК может быть определена по m или ψ с использованием закономерностей, указанных на рис. 2. Для этого следует задаться значением m или ψ, определить ξ и по вычисленному отношению $\frac{\rho}{\mu f}$ определить h'.

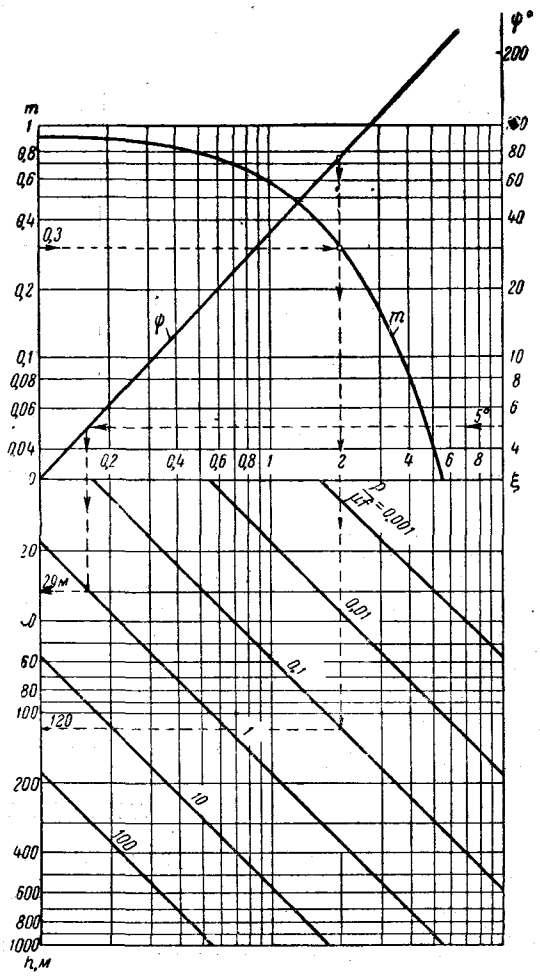


Рис. 2. Номограмма для определения глубинности метода БДК при расположении индикатора поля, кабеля и проводника в одной плоскости

Определим, например, глубинность метода БДК при: $\rho = 100$ *ом·м*, $f = 1000$ *гц*, $\mu = 1$, $\frac{\rho}{\mu f} = 0{,}1$. Примем $m = 0{,}3$. Этому значению соответ-

ствует $\xi=2$ (рис. 2). Определяя по последнему значению ординату точки на прямой $\frac{\rho}{\mu f}=0{,}1$ с абсциссой, равной 2, получаем $h'=120$ *м*. То же значение h' будет при принятом $\psi=76°$.

Зависимости рис. 2 не учитывают высоты полета индикатора поля h_0 в аэроэлектроразведке. Если ее учесть, относительная напряженность поля

$$\eta=\frac{H_2'}{H_1}=\frac{mh_0}{2h'+h_0}=\frac{m}{2n+1},$$

где

$$n=\frac{h'}{h_0}.$$

Зависимость относительной напряженности от n при постоянном значении m

n	η при m, равном				
	0,95	0,90	0,80	0,70	0,60
10	0,0452	0,0429	0,0381	0,0333	0,0286
5	0,0864	0,0818	0,0727	0,0636	0,0545
2	0,1900	0,1800	0,1600	0,1400	0,1200
1	0,3167	0,3000	0,2666	0,2333	0,2000
0,5	0,4750	0,4500	0,4000	0,3500	0,3000
0,1	0,7917	0,7500	0,6667	0,5833	0,5000
0,05	0,8636	0,8182	0,7273	0,6364	0,5454
0,01	0,9314	0,8824	0,7843	0,6863	0,5882
0,005	0,9406	0,8911	0,7921	0,6931	0,5941

По заданной η можно определить n, m и h' для каждого значения $\frac{\rho}{\mu f}$, используя таблицу и закономерности рис. 2. Так, например, при $\eta=0{,}3$, m, изменяющемся от 0,9 до 0,7, получим n в пределах от 1 до 0,5 (см. таблицу) и h' от 18 до 130 *м* при $\frac{\rho}{\mu f}=1$ (см. рис. 2).

Таким образом, рассмотренные случаи позволяют оценить максимальные возможности метода. На глубинность метода влияют конечные размеры рудных тел и их расположение относительно кабеля, измерение элементов поля на фоне мешающего первичного поля, неоднородности вмещающих пород, аппаратурные особенности и пр. Совместное воздействие всех этих факторов понижает глубинность метода. Однако при оптимальных условиях можно получить наибольшие глубины.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бурсиан В. Р. Теория электромагнитных полей, применяемых в электроразведке. Изд-во ЛГУ, 1936.
2. Заборовский А. И. Переменные электромагнитные поля в электроразведке. Изд-во МГУ, 1960.
3. Заборовский А. И. Электроразведка. Гостоптехиздат, 1943.