

SONDOWANIA KOMPENSACYJNE

NAZWA SONDOWANIA KOMPENSACYJNE definiuje metodę pomiarów geoelektrycznych przystosowaną do badania struktur geologicznych o dość spokojnym ułożeniu warstw. Istotną cechą układu pomiarowego metody kompensacyjnej jest występowanie dwóch dipoli zasilających, wzajemnie kompensujących pole elektryczne, w określonych obszarach badanego ośrodka.

Szczegółowe założenia metody precyzują następujące punkty:

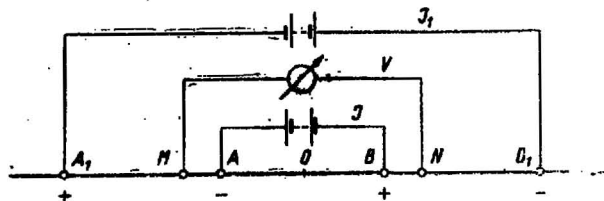
1. Przedmiot rozważania stanowi pole elektryczne w jednorodnym izotropowym ośrodku fizycznym o oporze właściwym ρ . Ośrodek wypełnia półprzestrzeń ograniczoną płaską powierzchnią.

2. Na powierzchni ośrodka fizycznego umiejscowiony jest punkt pomiarowy O. Punkt O stanowi początek prostokątnego, lewoskrętnego układu współrzędnych x, y, z . Oś z układu skierowana jest w głąb ośrodka, prostopadle do jego powierzchni.

3. Dwa dipole zasilające AB o długości $2l$ i A_1B_1 o długości $2L$, położone są na osi x symetrycznie względem punktu O (ryc. 1). Zachodzi warunek $L > l$.

4. Obwody prądowe AB i A_1B_1 zasilane są z dwu niezależnych źródeł prądu stałego. Kierunek przepływu prądu jest stale przeciwny. Jego natężenie ma odpowiednio wartości $-I$ i I_1 . Obwód A_1B_1 może być zasilany dodatkowo przez źródło sinusoidalnego prądu przemiennego o bardzo małej częstotliwości.

5. Dipol odbiorczy MN o długości $2a$ położony jest na osi x symetrycznie względem punktu pomiarowego O.



Ryc. 1

Z określonych powyżej założeń teoretycznych metody wynikają odpowiednie zjawiska fizyczne, które najlepiej są obserwowane w płaszczyźnie yz wzdłuż osi z .

Gęstość prądu j jest tam związana z natężeniem pola elektrycznego E i potencjałem U równaniem

$$j = \frac{E}{\rho} = -\frac{1}{\rho} \text{grad } U. \quad (1)$$

Potencjały U_A i U_B wywołane przez elektrody A i B w dowolnym punkcie h na osi z określone są związkiem

$$U_A = -\frac{I\rho}{2\pi r}, \quad U_B = \frac{I\rho}{2\pi r}, \quad (2)$$

gdzie r — jest odległością punktu h od elektrod A i B (ryc. 2). Składowe natężenia pola elektrycznego wynoszą według równania (1) i (2)

$$E_A = -\frac{dU_A}{dr} = -\frac{I\rho}{2\pi r^2},$$

$$E_B = -\frac{dU_B}{dr} = \frac{I\rho}{2\pi r^2}.$$

Z ryc. 2 wynika, iż bezwzględne wartości wektorów E_A i E_B są sobie równe, a zatem bezwzględna wartość wektora wypadkowego E_{AB} przyjmuje postać

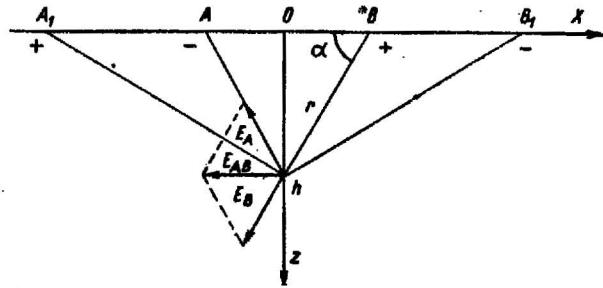
$$E_{AB} = -\frac{I\rho}{\pi r^2} \cos \alpha.$$

Ponieważ

$$\cos \alpha = \frac{l}{r}$$

$$E_{AB} = -\frac{Il\rho}{\pi r^3} = -\frac{Il\rho}{\pi(l^2 + h^2)^{3/2}},$$

gdzie zastosowano $r^2 = l^2 + h^2$



Ryc. 2

Analogicznie rozumując otrzymujemy natężenie pola $E_{A_1B_1}$. Wywołane przez drugą parę elektrod

$$E_{A_1B_1} = \frac{I_1 L \rho}{\pi(L^2 + h^2)^{3/2}}.$$

Całkowite natężenie pola elektrycznego E w wyniku działania obu dipoli zasilających wynosi

$$E = \frac{\rho}{\pi} \left[\frac{I_1 L}{(L^2 + h^2)^{3/2}} - \frac{Il}{(l^2 + h^2)^{3/2}} \right],$$

zaś gęstość prądu j na głębokości h obliczy się, zgodnie z równaniem (1), według równania

$$j = \frac{Il}{\pi} \left[\frac{ps}{(s^2 l^2 + h^2)^{3/2}} - \frac{1}{(l^2 + h^2)^{3/2}} \right], \quad (3)$$

gdzie

$$p = \frac{I_1}{I}, \quad s = \frac{L}{l}$$

Zależność (3) reprezentuje zmiany gęstości prądu na osi z wynikające z rozkładu pola elektrycznego, warunkowanego wielkością założonych parametrów p i s . Zachodzi przy tym symetria kolista zjawisk elektrycznych względem osi x , zatem równanie (3) obowiązuje w całej półpłaszczyźnie yz wzdłuż dowolnych prostych przechodzących przez punkt O.

Dla przeprowadzenia dyskusji równania (3) weźmiemy jego pochodną względem zmiennej głębokościowej h .

$$\frac{dj}{dh} = \frac{3Il}{\pi} \left[\frac{1}{(l^2 + h^2)^{5/2}} - \frac{ps}{(s^2 l^2 + h^2)^{5/2}} \right] h. \quad (4)$$

Istnieją trzy ekstrema funkcji j . Pierwsze z nich, w punkcie $h_m = 0$ jest ekstremum minimum.

W punkcie tym funkcja j posiada wartość

$$j_m = \frac{I}{\pi l^2} \left[\frac{p}{s^2} - 1 \right].$$

Drugie ekstremum maksimum obliczymy z równania (4) zakładając

$$(s^2 l^2 + h^2)^{5/2} - p s (l^2 + h^2)^{5/2} = 0,$$

skąd

$$s^2 l^2 + h^2 - p^{2/5} s^{2/5} l^2 - p^{3/5} s^{3/5} h^2 = 0,$$

$$h^2 (1 - p^{2/5} s^{2/5}) + l^2 (s^2 - p^{3/5} s^{3/5}) = 0.$$

Ostatecznie

$$h_M = l \sqrt{\frac{s^2 - p^{3/5} s^{3/5}}{p^{2/5} s^{2/5} - 1}}. \quad (5)$$

Ostatnie ekstremum występuje przy $h = \infty$. Wyznacza ono asymptotę funkcji j określoną równaniem $j = 0$

Funkcja j przechodzi ponadto przez 0 w punkcie, który obliczymy według równania (3) przy założeniu

$$p s (l^2 + h^2)^{3/2} - (s^2 l^2 + h^2)^{3/2} = 0,$$

skąd

$$p^{2/3} s^{2/3} l^2 + p^{2/3} s^{2/3} h^2 - s^2 l^2 - h^2 = 0,$$

$$h^2 (p^{2/3} s^{2/3} - 1) - l^2 (s^2 - p^{2/3} s^{2/3}) = 0.$$

Ostatecznie

$$h_0 = l \sqrt{\frac{s^2 - p^{2/3} s^{2/3}}{p^{2/3} s^{2/3} - 1}}. \quad (6)$$

Ponieważ h_0 posiada zmienność ograniczoną w przedziale

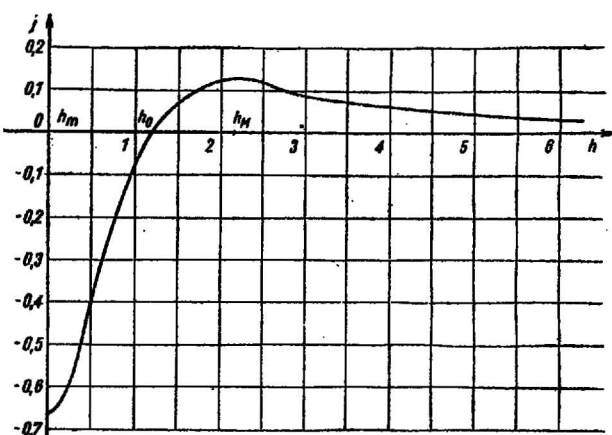
$$0 \leq h_0 < \infty$$

istnieje ograniczenie dla zmian parametru p , które zgodnie z równaniem (6) mają zachodzić w przedziale

$$s^{-1} \leq p \leq s^2$$

Kształt funkcji j i położenie poszczególnych punktów charakterystycznych jej wykresu zależy, przy ustalonych l i I jedynie od parametrów p i s .

Ryc. 3 przedstawia krzywą gęstości prądu obliczoną dla przypadku $s = 3$, $p = 3$.

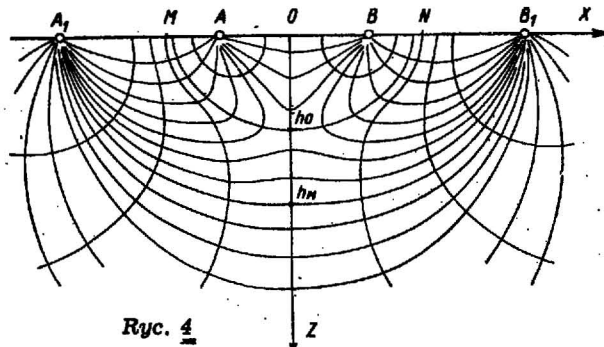


Ryc. 3

Przypadkowi temu odpowiada rozkład pola elektrycznego wykreślony dla płaszczyzny xz na ryc. 4.

Dipol odbiorczy MN rejestruje zmiany wartości potencjału odpowiednich powierzchni ekwipotencjalnych.

W ośrodku jednorodnym, izotropowym, kształt powierzchni i ich położenie uzależnione jest od wartości przyjętych parametrów, natomiast w ośrodku niejednorodnym ulega dodatkowo wpływom niejednorodności i to tym większym, im większa jest gęstość prądu płynącego w ich obrębie. A zatem czułość odbiorcza dipola MN , w odniesieniu do anomalii rozkładu pola elektrycznego, jest największa przy niejednorodnościach położonych w strefach największego zagęszczenia prądu — w strefach obejmujących ekstrema funkcji j .



Ryc. 4

Ekstremum minimum w punkcie h_m , jako występujące na powierzchni ośrodka, nie jest interesujące ze względów praktycznych, natomiast ekstremum maksimum w punkcie h_M łączy efekty elektryczne z korzyściami praktycznymi. Czułość pomiarowa układu jest bowiem najwyższa dla punktów niejednorodnych ośrodka, znajdujących się właśnie w obrębie tego ekstremum, a więc na głębokości h_M .

Odwracając zagadnienie można postawić maczelne założenie metody — współrzędna h_M określa głębokość pomiaru układu sondowań kompensacyjnych.

W celu przeprowadzenia sondowania wystarczy powodować zmiany położenia punktu maksymalnej gęstości prądu. Dokonywać tego można w różny sposób. Rozpatrzmy poniżej szereg wersji rozwiązania praktycznego pomiarów w układzie kompensacyjnym.

1. Przyjmujemy według równania (5) stałą wartość dla parametrów s i l , zachowując jednocześnie stałą długość a dipola odbiorczego. Cały układ rozstawu pozostaje zatem nieruchomy. Zmianom ulega jedynie parametr p określający stosunek natężeń prądu obu gałęzi zasilających. Oscyluje on w przedziale

$$s^{-1} \leq p \leq s^2$$

Zmieniając tym samym położenie punktu h_M w przedziale

$$0 \leq h_M < \infty$$

Zmiany parametru p dokonywać można skokami według równania

$$p = \frac{1}{s} \left(\frac{s^2 l^2 + h_M^2}{l^2 + h_M^2} \right)^{5/2}$$

przyjmując dla współrzędnej h_M najczęściej stosowany wzrost wykładniczy.

Dipol odbiorczy MN rejestruje przy odpowiednio dobranym p różnicę potencjałów $U_M - U_N = V$

$$V = \frac{\rho}{\pi} \left[\frac{I_1}{L-a} - \frac{I_1}{L+a} + \frac{I}{a+l} - \frac{I}{a-l} \right],$$

$$V = \frac{2\rho}{\pi} \left[\frac{a}{L^2 - a^2} I_1 - \frac{l}{a^2 - L^2} I \right]. \quad (7)$$

Wprowadzając oznaczenia

$$G = \frac{2a}{\pi(L^2 - a^2)}, \quad H = \frac{2l}{\pi(a^2 - L^2)},$$

Otrzymujemy

$$\rho = \frac{V}{G I_1 - H I} = \frac{V}{I(Gp - H)} \quad (8)$$

gdzie wartość ρ określa opór pozorny ośrodka niejednorodnego na głębokości h_M , wyznaczonej z równania (5) za pośrednictwem wielkości p .

Krzywa sondowania kompensacyjnego uzyskana w wyniku pomiarów wartości V , I i I_1 , łączy poszczególne wartości oporu pozornego ρ , obliczone według równania (8), a odniesione na wykresie do głębokości pomiaru h_M według równania

$$\rho = f(h_M).$$

Aby uzyskać krzywą ciągłą sondowania kompensacyjnego należy zastosować dodatkowe źródło zasilania prądem zmiennym o charakterystyce sinusoidalnej (założenie 4).

W obwodzie prądowym AB napięcie pozostaje niezmiennic i posiada wartość $-I$. W obwodzie $A_1 B_1$, oprócz składowej stałej I_1 wystąpi składowa $\pm i$ prądu zmiennego. Rolę parametru p przejmie parametr n określony jak następuje:

$$n = \frac{I_1 \pm i}{I} \quad (9)$$

$$n = p \pm q,$$

gdzie

$$q = \frac{i}{I}.$$

Ponieważ zmienność n zachodzić ma jak uprzednio w przedziale

$$s^{-1} \leq n \leq s^4$$

wyrażenie (9) przyjmuje postać

$$p - q = s^{-1}$$

$$p + q = s^4$$

a stąd

$$p = \frac{s^4 + s^{-1}}{2}, \quad q = \frac{s^4 - s^{-1}}{2} \quad (10)$$

Równania (10) pozwalają dobrać dla granicznego przedziału oscylacji punktu h_M odpowiednie wartości napięcia prądu stałego i zmiennego w obwodzie prądowym $A_1 B_1$ w stosunku do napięcia prądu stałego w obwodzie AB .

Różnica potencjałów V odbierana przez dipol MN będzie przyporządkowana w każdej chwili t odpowiedniej głębokości pomiaru h_M określonej za pośrednictwem parametru n .

Przenosząc napięcie V z dipola MN na płytki Y lampy oscylografu katodowego, zaś napięcie źródła sinusoidalnego prądu przemiennego na płytki X , otrzymamy na ekranie oscylografu krzywą pomiarową sondowania kompensacyjnego.

Kształt uzyskanej krzywej daje się określić na podstawie następującego rozumowania.

Różnica potencjałów V między punktami MN , w chwili t_0 dla $q = 0$ określona jest związkami (7).

$$V = \frac{2 I \rho}{\pi} \left[\frac{ap}{L^2 - a^2} - \frac{l}{a^2 - l^2} \right] \quad (11)$$

W chwili t dla $q > 0$ różnica potencjałów V_n dana jest równaniem

$$V_n = \frac{2 I \rho}{\pi} \left[\frac{an}{L^2 - a^2} - \frac{l}{a^2 - l^2} \right] \quad (12)$$

Przyność $\delta V_t = V_n - V$ różnicy potencjałów w czasie $t - t_0$ otrzymujemy biorąc obustronną różnicę równań (12) i (11)

$$\delta V_t = \frac{2 I \rho a}{\pi (L^2 - a^2)} (n - p)$$

$$\delta V_t = \frac{2 \rho a}{\pi (L^2 - a^2)} i \quad (13)$$

Jak widać przyność różnicy potencjałów jest funkcją liniową napięcia i prądu sinusoidalnego, zatem V_n również jest funkcją sinusoidalną.

Na ekranie oscylografu otrzymujemy dla ośrodka jednorodnego izotropowego linię prostą nachyloną względem osi odciętych pod kątem, którego tangens odpowiada współczynnikowi przy i (13). Nachylenie to kompensuje się po doprowadzeniu równoległym z napięciem V_n odpowiedniego napięcia sinusoidalnie zmienionego o przeciwną fazie, bezpośrednio od źródła prądu przemiennego.

Wszelkie odchylenia od teoretycznej prostej zaobserwowane na ekranie oscylografu przy badaniu ośrodka niejednorodnego są interesujące ze względów metodycznych.

Ponieważ sondowanie z prądem zmiennym postępuje przy nieruchomych elektrodach, powodowane jedynie zmianą stosunku napiężeń prądu obu dipoli zasilających, oscylacje krzywej pomiarowej zachodzą jednoznacznie jako odzew niejednorodności badanej struktury w przedziale zasięgu sondowania.

Ustalenie parametrów s , l i a , a więc ustalenie wszystkich rozstawów układu, ma bardzo ważne znaczenie praktyczne. Wyeliminowane są dzięki temu zniekształcające wpływy niejednorodności przypowierzchniowych rejestrowane przede wszystkim przez dipol odbiorczy MN .

Zaburzenia przypowierzchniowe wypadają z pomiarem niezależnie od sposobu zasilania układu, a więc są wyeliminowane zarówno przy prądzie stałym, wobec zmian parametru p , jak też przy prądzie zmiennym, wobec zmian parametru n .

2. Czulość dipola odbiorczego MN odniesiona do anomalii rozkładu pola elektrycznego w ośrodku niejednorodnym jest najmniejsza przy niejednorodnościach występujących w strefie najmniejszego zagęszczenia prądu. Strefa taka obejmuje punkt charakterystyczny h_0 , dla którego gęstość prądu ulega zupełnej kompensacji ($j = 0$). Ponieważ punkt h_0 zależy według równania (6) od parametrów l , p i s , dla ustalonych wartości l i s zmiany parametru p w przedziale domkniętym $[s^{-1}, s^4]$ powodują dowolne przesunięcia współrzędnej h_0 wzdłuż osi z .

Wszelkie niejednorodności ośrodka umiejscowione na drodze przemieszczania punktu h_0 wypadają praktycznie z rejestracji dipola odbiorczego, gdyż wywołują wtedy w ośrodku nieznaczne zaledwie anomalie rozkładu pola elektrycznego.

W konsekwencji, w odpowiednich punktach krzywej pomiarowej, wyliczonej według równania (8), lecz odniesionej do głębokości h_0 , nie występują wpływy tych niejednorodności ośrodka, które otaczają w danej chwili punkt h_0 .

Jeżeli na przykład niejednorodnością byłoby ciało wysokooporowe generalnie podwyższające opór pozorny ośrodka, to w odpowiednim punkcie h_0 krzywej sondowania, wyróżniłoby się ono w postaci minimum oporowego. Wpływ ciała podwyższające opór pozorny uległby zupełnie niemalże zanikowi, ze względu na najmniejszą w jego otoczeniu bezwzględnie wartość gęstości prądu. W zakresie pomiaru wchodziłoby jedynie niższe oporowe środowisko, które kształtowałoby otrzymane minimum krzywej sondowania.

W ten sposób krzywa pomiarowa sondowania kompensacyjnego odniesiona do głębokości h_0 , a więc określona równaniem

$$\rho = f(h_0)$$

sugeruje efekty elektryczne pozornie odpowiadające krzywej przewodnictwa elektrycznego ośrodka niejednorodnego.

3. W celu utworzenia jak najbardziej jednorodnych warunków fizycznych dla rozkładu pola elek-

trycznego w płaszczyźnie yz , zakłada się stałą wartość parametru $p = s^2$. W konsekwencji, punkt zupełnej kompensacji gęstości prądu $j_0 = 0$ przenosi się na powierzchnię ośrodka i wtedy $h_0 = 0$.

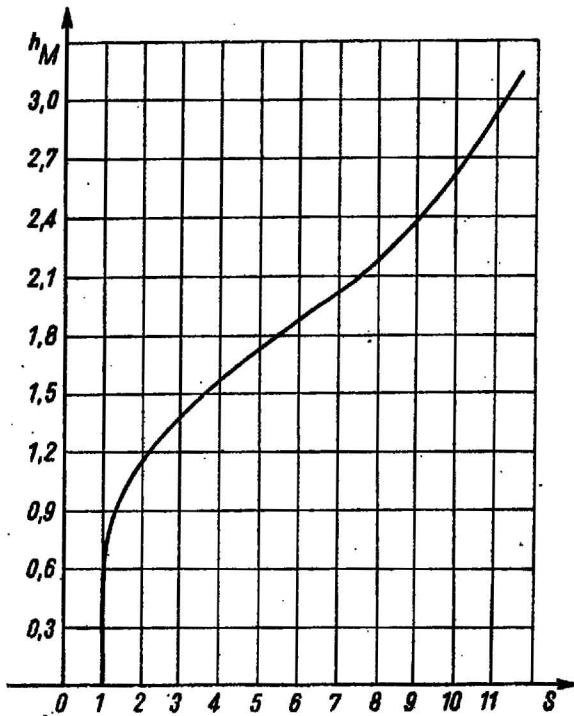
Gęstość prądu w płaszczyźnie yz określona jest równaniem.

$$j = \frac{Il}{\pi} \left[\frac{s^3}{(s^2 l^2 + h^2)^{3/2}} - \frac{1}{(l^2 + h^2)^{3/2}} \right]. \quad (14)$$

Ekstremum minimum funkcji j w punkcie h_m zanika, a współrzędna h_M punktu maksymalnej gęstości prądu przyjmuje postać

$$h_M = l \sqrt{\frac{s^2 - s^0/s}{s^0/s - 1}} \quad (15)$$

przedstawioną graficznie na ryc. 5.



Ryc. 5

Odpowiednia wartość gęstości prądu w punkcie ekstremalnym wynosi

$$j_M = \frac{Il}{\pi} \left[\frac{s^3}{(s^2 l^2 + \frac{s^2 - s^0/s}{s^0/s - 1})^{3/2}} - \frac{1}{(l^2 + \frac{s^2 - s^0/s}{s^0/s - 1})^{3/2}} \right]$$

$$j_M = \frac{I}{\pi l^2} \left[\frac{s^3 (s^0/s - 1)^{3/2}}{(s^2 l^2 + \frac{s^2 - s^0/s}{s^0/s - 1})^{3/2}} - \frac{(s^0/s - 1)^{3/2}}{(s^2 - 1)^{3/2}} \right]$$

$$j_M = \frac{I}{\pi l^2} \left[\frac{s^3/s}{(s^2 - 1)^{3/2}} - \frac{1}{(s^2 - 1)^{3/2}} \right] (s^0/s - 1)^{3/2}$$

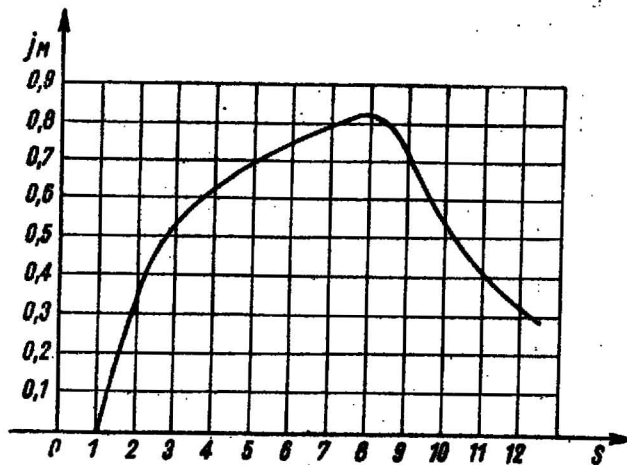
$$j_M = \frac{I}{\pi l^2} \frac{(s^0/s - 1)^{3/2}}{(s^2 - 1)^{3/2}} \quad (16)$$

Wykres funkcji j_M ilustruje ryc. 6.

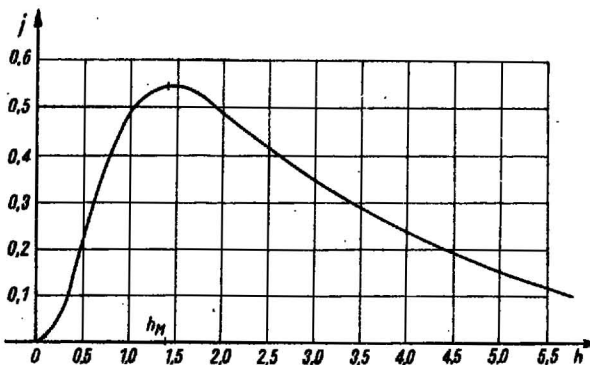
Przebieg funkcji j (14) (ryc. 7) i położenie jej punktów charakterystycznych zależy jedynie od warunków geometrycznych układu — jako wynik konsekwentny rozkładu pola elektrycznego (ryc. 8).

Funkcję charakteryzuje wyraźnie zaznaczone ekstremum maksimum w punkcie h_M , następnie punkt h_0 , w którym gęstość prądu ulega zupełnej kompensacji i punkt h_{∞} , dla którego następuje całkowity zanik gęstości prądu.

Współrzędna h_M określa, zgodnie z uprzednio przyjętym założeniem zasięg głębokościowy sondowania kompensacyjnego. Wielkość h_M zależy wobec równania (15) od parametrów l i s . Jeżeli zatem ustalimy parametr s , zmiany współrzędnej h_M zachodzą będą w zależności liniowej od parametru l .



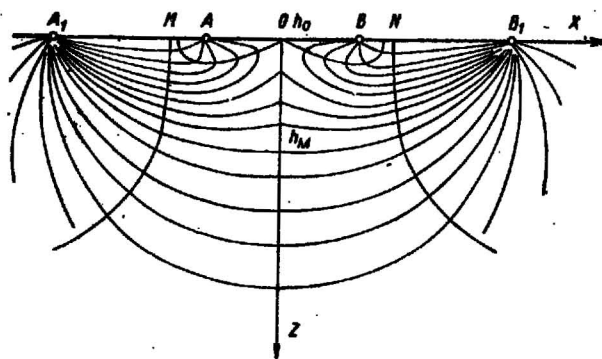
Ryc. 6



Ryc. 7

Wielkość s powinna być tak dobrana, aby przy możliwie małych rozstawach elektrod zasilających, zasięg głębokościowy układu był największy. Również największa powinna być gęstość prądu w punkcie ekstremalnym.

Ekonomiczne ustawienie układu pomiarowego nastąpi wtedy, gdy dla możliwie małych L i I przy maksymalnym h_M będzie maksymalne j_M .



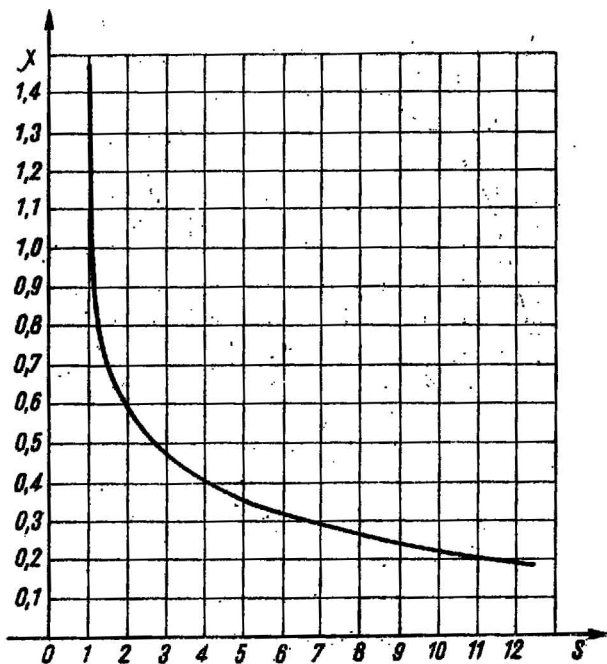
Ryc. 8

Aby wyznaczyć tak powiązane parametry, niech będzie dany współczynnik ekonomicznego zasięgu głębokościowego

$$\chi = \frac{h_M}{L}$$

$$\chi = \frac{1}{s} \sqrt{\frac{s^2 - s^0/s}{s^0/s - 1}} \quad (17)$$

Przebieg zmian współczynnika χ ilustruje krzywa na ryc. 9.



Ryc. 9

Iloczyn $j_M \chi$ utworzony z wielkości (16) i (17) pozostaje, tak jak i jego czynniki jedynie funkcją parametru s :

$$j_M \chi = \frac{I}{\pi l^2} \frac{(s^0/s - 1)^{5/2} (s^2 - s^0/s)^{1/2}}{s (s^2 - 1)^{3/2} (s^0/s - 1)^{1/2}}$$

$$j_M \chi = \frac{I}{\pi l^2} \frac{(s^0/s - 1)^2 (s^2 - s^0/s)^{1/2}}{s (s^2 - 1)^{3/2}} \quad (18)$$

Wartość (18) jest wprost proporcjonalna do czynników j_M i χ , a jako taka pozwala wyznaczyć odpowiedni punkt s , w którym czynnik j_M będzie możliwie najwyższy, przy możliwie największej wartości czynnika χ .

Odpowiedni punkt s określa ekstremum maksimum iloczynu $j_M \chi$. Przypada ono według wykresu funkcji (ryc. 10), w przedziale $3 < s < 4$.

Wydaje się, iż przyjęcie dla układu kompensacyjnego współczynnika $s = 3$ jest najkorzystniejsze ze względów geofizycznych (możliwie najmniejszy zasięg poziomy w kierunku rozstawów) i ze względów praktycznych — przy przeliczaniu i wyznaczaniu rozstawów pomiarowych w terenie.

Zasięg głębokościowy metody, przy założonych $p = s^2$, $s = 3$ określony jest wielkością dipoli zasilających. Zachodzi następujące powiązanie

$$h_M \approx 1,39 l \approx 0,46 L$$

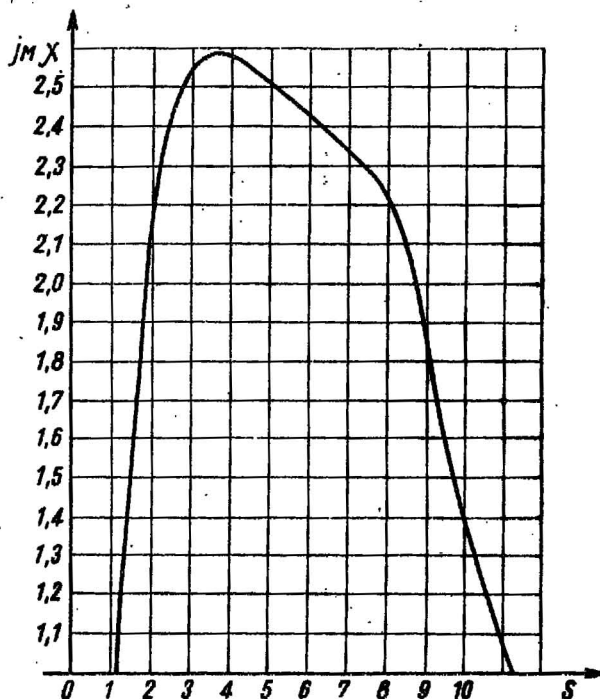
Dla wykonania sondowania kompensacyjnego należy zatem, utrzymując stały stosunek napięć w obu gałęziach zasilających $p = 9$, zmieniać wielkość wszystkich rozstawów pomiarowych według wzrostu na przykład wykładniczego.

Krzywa pomiarowa sondowania łączy poszczególne wartości oporu pozornego ρ , obliczone na podstawie równania (8), a odniesione do odpowiednich głębokości h_M (15).

Krzywa sondowania określona jest równaniem

$$\rho = f(h_M)$$

Zmiany ρ reprezentują budowę ośrodka, wyróżniając w nim szereg stref oporowych, które w wyniku interpretacji mogą być związane z jego uwarstwieniem.



Ryc. 10

Ekstremum gęstości prądu wytwarza korzystne warunki odbiorcze układu pomiarowego. Zwiększa kontrastowość rejestracji efektów elektrycznych i lokalizuje je w otoczeniu półkola zakreślonego promieniem h_M , z punktu O w płaszczyźnie yz .

Jednocześnie eliminacji ulegają wpływy przypowierzchniowe zachodzące we wnętrzu półkola. Następuje to dzięki kompensacji gęstości prądu w obrębie punktu pomiarowego.

UWAGI

1. Istotną cechą wszystkich wersji metody sondowań kompensacyjnych jest możliwość określania głębokości poszczególnych horyzontów oporowych bezpośrednio z krzywej pomiarowej $\rho = f(h)$.

Sposób, jakim się należy posługiwać przy wyznaczaniu głębokości wynikające z porównania krzywych pomiarowych z grupą wzorcowych krzywych teoretycznych opracowanych według założeń metody. Same krzywe teoretyczne nie będą konieczne przy bezpośredniej interpretacji materiałów pomiarowych.

2. Metodyka prac polowych w układzie sondowań kompensacyjnych jest zbliżona do typowej metodyki układów klasycznych. Przy sytuowaniu punktów pomiarowych w terenie zaleca się ustawianie rozstawów sondowań w kierunku równoległym do biegu warstw geologicznych lub kierunków ewentualnych dyslokacji. Jest to konieczne ze względu na wydłużony kształt linii napięcia pola elektrycznego w obrębie ekstremum gęstości prądu. Ekstremum to koncentruje linie napięcia pola mającąc zagęszczenie kształt zbliżony do powierzchni walcowej okalającej oś X .

Rozstawy MN zaleca się sytuować równoległe do osi x przyjmując dla uczniów M_-N_- i M_+N_+ odpowiednio współrzędne $(-l, -2l)$ ($l, -2l$) oraz $(-l, 2l)$ ($l, 2l$).