

## PROBLEMY RÓWNOWAŻNOŚCI I INTERPRETACJI ORAZ WYBORU ROZSTAWU POMIAROWEGO DLA ELEKTROMAGNETYCZNYCH SONDOWAŃ CZĘSTOTLIWOŚCI NAD IZOLUJĄCYM PODŁOŻEM ODDZIELONYM OD NADKŁADU WARSTWĄ OBNIŻONEJ OPORNOŚCI

UKD 550.837.6:550.837.7

W artykule poddaje się szczegółowej analizie dotychczas mało zbadany problem równoważności krzywych sondowań częstotliwościowych. Ponadto podaje się nowy, prosty i szybki sposób ich interpretacji wraz z niezbędnymi do niego nomogramami interpretacyjnymi. Na podstawie właściwości wymienionego sposobu wskazuje się możliwość znacznego zmniejszenia dotychczasowych norm rozstawów sondowania, a tym samym możliwość znacznego polepszenia jakości bądź głębokości penetracji geoelektrycznej przekroju.

W oparciu o analityczne wyrażenia rozkładu pola elektromagnetycznego w strefie falowej nad poziomowarstwowym przekrojem (5) za pomocą maszyny elektronowej „Urał-2”<sup>1</sup> dokonano odpowiednich obliczeń krzywych sondowania<sup>2</sup>.

Na podstawie analizy szeregu dodatkowych obliczeń zebrano i opracowano następujące funkcje:

$$\mu = \xi(\alpha_{\min}, \nu) \quad (1)$$

$$\alpha_{\min I} = F \alpha_{\min I} \neq \alpha_{\min II}(\mu) \quad (2)$$

$$\mu = \theta \left( \frac{\rho\omega(\alpha_{\min})}{\rho\omega(\min)}, \nu \right) \quad (3)$$

$$\mu = \gamma \left( \frac{\lambda_1(\rho_{\min})}{\lambda_1(\alpha_{\min})}, \nu \right) \quad (4)$$

<sup>1</sup> Obliczeń dokonano w Centrum Obliczeniowym Polskiej Akademii Nauk.

<sup>2</sup> 700 par krzywych trójwarstwowych i czterowarstwowych.

$$\mu = F \left( \frac{\rho\omega(\min)}{\rho I}, \nu \right) \quad (5)$$

$$\mu = \varphi \left( \frac{\rho\omega(\min)}{\rho H}, \nu \right) \quad (6)$$

gdzie:  $\mu$  — stosunek oporności drugiej i pierwszej warstwy,

$\nu$  — stosunek miąższości drugiej i pierwszej warstwy,

$\alpha_{\min}$  — jedyne minimum na trójwarstwowej krzywej fazowej,

$\alpha_{\min I}, \alpha_{\min II}$  — pierwsze i drugie minimum na krzywej fazowej występujące po „rozdzieleniu” się jedynego minimum ( $\alpha_{\min}$ ), (dla uproszczenia przez  $\alpha_{\min II}$  oznaczono również „przebieg” krzywej fazowej występującej przed wykształceniem się faktycznego  $\alpha_{\min II}$ ),

$\lambda_1(\rho_{\min})$  — współrzędna minimum krzywej oporności,

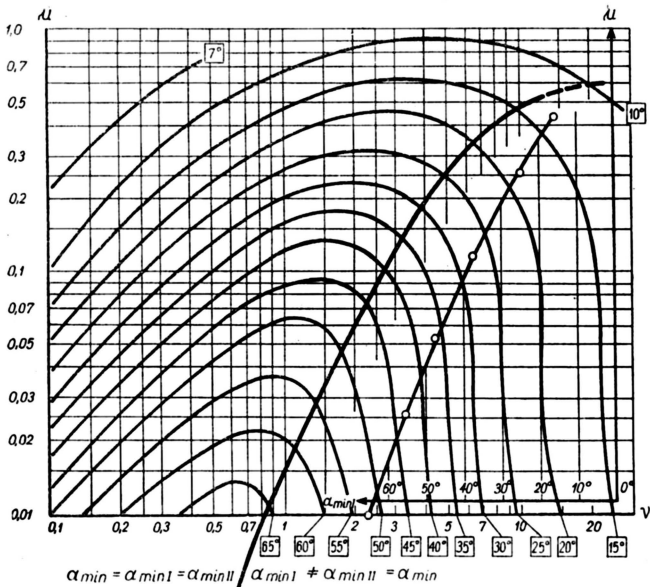
$\lambda_1(\alpha_{\min})$  — współrzędna minimum krzywej fazowej,

$\rho\omega(\min)$  — oporność pozorna w minimum krzywej,

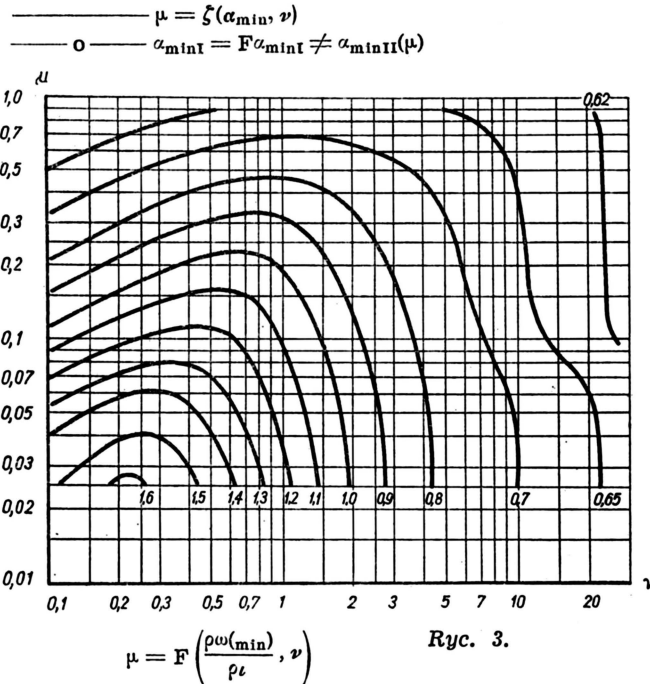
$\rho\omega(\alpha_{\min})$  — oporność pozorna dla współrzędnej  $\lambda_1(\alpha_{\min})$ ,

$\rho I$  — średnia oporność wzdłużna,

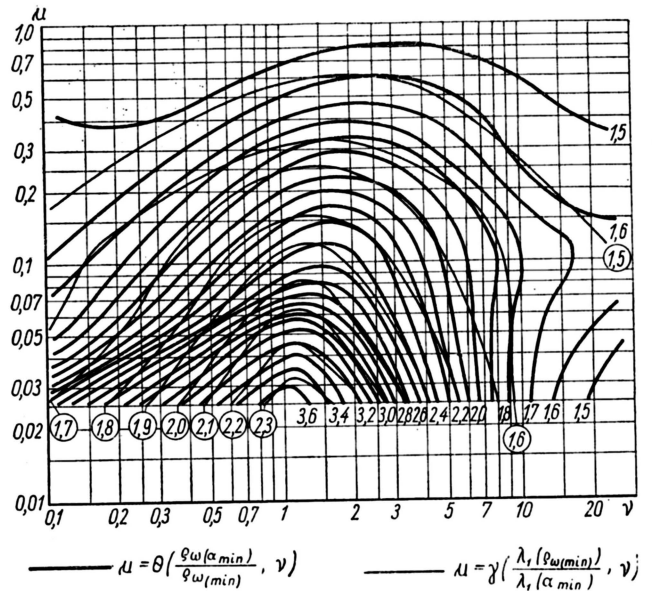
$\rho H$  — oporność warstwy zalegającej na podłożu.



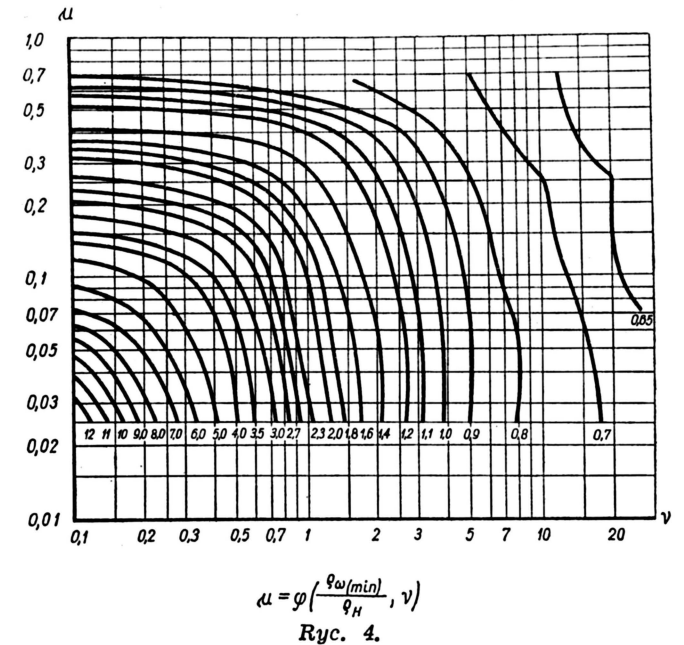
Ryc. 1.



Ryc. 3.



Ryc. 2.



Ryc. 4.

Wymienione funkcje przedstawiają odpowiednio ryc. 1 — 4. „Czytelność” wykresów ryc. 2 — 4 jest prosta. Do opisu ryc. 1 należy dodać wyjaśnienie, że linia lewa tnąca wykres wyznacza granicę rozdziału  $\alpha_{\min}$  na  $\alpha_{\min I}$  i  $\alpha_{\min II}$  (będziemy nazywać ją linią podziału  $\alpha - LP\alpha$ ). Na prawo od tej linii do wykresu funkcji [1] przyjęto  $\alpha_{\min II}$  (dla jasności zachowano oznaczenie  $\alpha_{\min}$ ).  $\alpha_{\min I}$  nie zależy od  $\nu$  i stąd wykres funkcji [2] podano na wspólnej osi  $\mu$ .

PROBLEM RÓWNOWAŻNOŚCI PRZEKROJÓW TYPU H  
( $\epsilon_1 > \epsilon_2 < \epsilon_3$ )

W praktyce i teorii sondowań prądem stałym za równoważne sobie uważamy takie przekroje, dla których krzywe sondowań są identyczne i dla których spełnia się warunek  $\frac{\nu}{\mu} = \frac{S_2}{S_1} = \text{const.}$  (w układzie współrzędnych  $\nu, \mu$  określają go linie proste nachylone pod kątem  $45^\circ$ ). Ogólnie wiadomo, że dla sondowań elektrycznych prądem stałym, przedziały dzia-

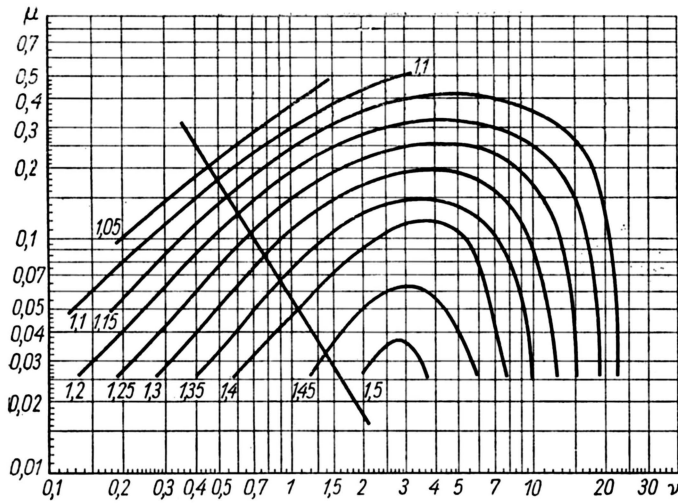
łania zasady równoważności są szerokie i w kierunku malejących wartości  $\nu, \mu$  nie posiadają ograniczenia, w związku z czym w bardzo wielu praktycznie często spotykanych przypadkach nie istnieje możliwość tzw. bezparametrycznej interpretacji (ryc. 5).

Przenosząc pojęcie równoważności na krzywe sondowań elektromagnetycznych i w myśli na nomogramach ryc. 1 i ryc. 2 wyznaczając linie  $\frac{\nu}{\mu} = \text{const.}$

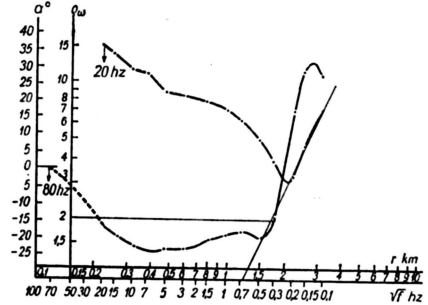
(nachylone pod  $45^\circ$ ) przekonamy się, że w dosłownym rozumieniu zjawisko takie dla krzywych sondowań elektromagnetycznych w strefie falowej nie zachodzi.

Analizując nomogram ryc. 2 i porównując go z ryc. 5 łatwo można przekonać się, że przy malejących  $\nu, \mu$  występują wyraźne i nierównoważne rozwiązania. Niekorzystnym zjawiskiem obserwowanym na nomogramie ryc. 2 jest wieloznaczność rozwiązań. Wieloznaczność tę można ograniczyć wprowadzając do rozwiązania funkcje [1] i [2] przedstawione na ryc. 1. Pierwsza ogranicza ilość rozwiązań po lewej i prawej stronie linii  $LP\alpha$  do jednego, a wybór „strony” jest elementarnie prosty w oparciu o morfologię krzy-

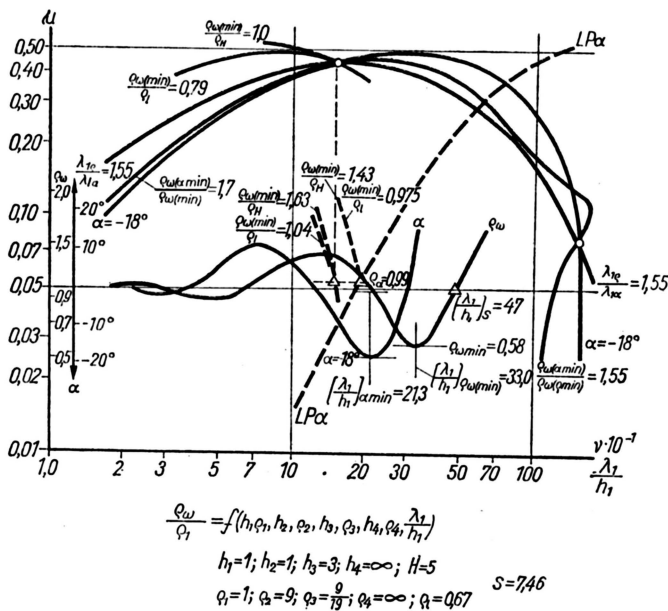
Ryc. 5. Wykres funkcji  $\mu_1 = F\left(\frac{\rho_e}{\rho_{min}}, \nu\right)$  przy  $\mu_2 = \infty$



dla krzywych typu H sondowań elektrycznych prądem stałym wg J. Dzwiniela (1).  $\rho_e$  — wielkość oporności pozornej na krzywej sondowania w promieniu  $d = \log 1,72$  na lewo od minimum krzywej (obszar, gdzie izolinie nomogramu biegną prostoliniowo pod kątem  $45^\circ$  jest obszarem równoważnych rozwiązań)



Ryc. 7. Przykład interpretacji krzywej polowej omawianej w artykule (3)



$$\alpha_{min} = -18^\circ; \left(\frac{\lambda_1}{h_1}\right)_{\alpha_{min}} = 21,3; \rho_{\omega(\alpha_{min})} = 0,99$$

$$\left(\frac{\lambda_1}{h_1}\right)_{\rho_{min}} = 33,0; \rho_{\omega(\rho_{min})} = 0,58; S = \frac{(\lambda_1)_{\rho_{min}}}{2\pi} = 7,53$$

II

$$\alpha_{min} = -18^\circ; \lambda_{\alpha_{min}} = 1,55; \rho_{\omega(\alpha_{min})} = 1,70$$

III

$$\mu = 0,44; \nu = 1,5; \rho_{\omega(\mu)} = 0,79$$

$$\frac{\rho_{\omega(\mu)}}{\rho_{\omega}} = 1,0; q_1 = 0,734; q_H = 0,58$$

IV

$$\nu = 1,5 < \nu_{H_1} = 1,9; \mu_{H_1} = \frac{\rho_{\omega}}{\rho_{\omega H_1}} = \frac{1}{1,9}$$

V

$$\frac{\rho_{\omega(\mu)}}{\rho_{\omega}} (\nu, \mu_{H_1}) = 1,04; \frac{\rho_{\omega(\mu)}}{\rho_{\omega}} (\nu_{H_1}, \mu_{H_1}) = 0,975$$

$$C_1 = \frac{1,04}{0,975} = 1,07$$

$$\frac{\rho_{\omega(\mu)}}{\rho_{\omega}} (\nu, \mu_{H_1}) = 1,63; \frac{\rho_{\omega(\mu)}}{\rho_{\omega}} (\nu_{H_1}, \mu_{H_1}) = 1,43$$

$$C_H = \frac{1,63}{1,43} = 1,14$$

VI

$$q_1 = \frac{0,734}{C_1} = 0,685; q_H = \frac{0,58}{C_H} = 0,508$$

VII

$$H = S \cdot q_1 = 5,15; h_{1,2} = \frac{H}{1,7 \cdot \nu} = 2,06;$$

$$h_3 = 3,09; S_{1,2} = S - S_H = 1,44;$$

$$q_{(1,2)} = \frac{S_{1,2}}{h_{1,2}} = 1,43$$

Ryc. 6. Ogólny przykład interpretacji krzywych sondowań częstotliwościowych proponowanym sposobem

wych fazowych (stwierdzenie, czy występuje  $\alpha_{min}$ , czy  $\alpha_{min I}$  i  $\alpha_{min II}$ ).

Z przedstawionych rozwiązań prospekcyjne walory metody sondowań częstotliwościowych są nazbyt oczywiste, aby je wymieniać. Stąd też ograniczyć się tylko do wskazania, że mogą one samodzielnie (bezparametrycznie) rozwiązywać te zadania, których nie potrafią rozwiązać sondowania prądem stałym zabezpieczone nawet w wyczerpujące informacje parametryczne.

#### NOMOGRAFICZNA INTERPRETACJA KRZYWYCH SONDOWAŃ CZĘSTOTLIWOŚCIOWYCH

Technika interpretacji jest elementarnie prosta i podobna do tej, jaką opracował autor dla prądów stałych (1).

1. Z krzywych sondowań odczytuje się:  $\alpha_{min}$  (lub  $\alpha_{min I}$  i  $\alpha_{min II}$ ),  $\lambda_1(\alpha_{min})$  (lub  $\lambda_1(\alpha_{min II})$ ),  $\rho_{\omega(\min)}$ ,  $\lambda_{\rho_{min}}$ ,  $\rho_{\omega(\alpha_{min})}$  oraz z prawej asymptoty przy  $\rho_{\omega} = 1$  określa się  $S = \sqrt{\frac{10^7}{2\pi}} \cdot \frac{1}{\sqrt{f}} = \frac{\lambda_1/h_1}{2\pi}$  (patrz przykład na ryc. 6 pkt. I).

<sup>1</sup> Dla krzywych polowych  $\frac{1}{\sqrt{f}}$  gdzie:  $f$  — częstotliwość.

2.  $\alpha_{min}$  lub  $\alpha_{min I}$  i  $\alpha_{min II}$  oraz obliczone stosunki  $\frac{\lambda_1(\rho_{min})}{\lambda_1(\alpha_{min})}$ ,  $\frac{\rho_{\omega(\alpha_{min})}}{\rho_{\omega(\min)}}$  (patrz ryc. 6, punkt II) przenosi się

w postaci izolunii na nomogram ryc. 1 i 2 (pokryty kalką z zaznaczonymi osiami  $\nu$ ,  $\mu$ ). Punkt przecięcia izolunii (otrzymany na kalce przenoszony z jednego nomogramu na drugi) lub środek strefy przecięcia daje wielkości  $\nu$ ,  $\mu$  oraz na nomogramach ryc. 3 i 4

wyznacza wielkości izolunii  $\frac{\rho_{\omega(\min)}}{\rho_I}$  i  $\frac{\rho_{\omega(\min)}}{\rho_H}$  skąd prostym przeliczeniem określamy  $q_1$  i  $q_H$  (patrz ryc. 6 p. III).

3. Wielkości  $\nu$ ,  $\mu$  mogą być obliczone samodzielnie z nomogramu ryc. 1 na prawo od linii LP $\alpha$  z rozwiązań funkcji [1] i [2] (patrz ryc. 7).

4. Znając  $\nu$ ;  $\mu$ ;  $q_1$ ;  $q_H$ ;  $S$  obliczamy:  $H = S \cdot q_1$ ;  
 $h_1 = h_e = \frac{H}{1 + \nu}$ ;  $h_2 = h_H = h_e \cdot \nu$ ;  $q_1 = \rho_e(\mu) = \frac{\rho_H}{\mu}$ ;  
 $S_H = \frac{h_H}{\rho_H}$ ;  $S_e = S - S_H$ ;  $q_{e(s)} = \frac{h_e^4}{S_e}$  (patrz ryc. 6 p. VII).

<sup>4</sup> Dla krzywych wielowarstwowych w przypadku istnienia warstwy „ekranującej” obliczone dwoma sposobami znacznie się różnią (poprawna jest wielkość obliczona z S).

5. Za pomocą przedstawionych nomogramów mogą być interpretowane również krzywe wielowarstwowe. Dla nich może być określana: głębokość występowania podłoża, miąższości i oporności bezpośrednio nadległej warstwy oraz sumaryczna miąższość i średnia oporność (wzdłużna pozostałej części nadkładu).

6. Dla krzywych typu KH ( $Q_1 < Q_2 > Q_3 < Q_4$ ) powinien być spełniony warunek  $\alpha_{\min} < 0$  i  $\rho_{\omega(\min)} < Q_1$ .

Przy dużej miąższości i oporności warstwy wysokooporowej  $Q_2 \approx Q_{\text{ekr}}$ , określone z rozwiązania  $v$  powinno występować na prawo do linii LP $\alpha$  dla oszacowanej wielkości  $\frac{\rho_H}{\rho_{\text{ekr}}} = \mu^*$ , w przeciwnym przy-

padku obliczone wielkości  $Q_1$  i  $Q_H$  należy poprawić (zmniejszyć) na odpowiednie współczynniki obliczane ze stosunku odpowiednich wielkości  $\frac{\rho_{\omega(\min)}}{\rho_1}$  dla  $Q_1$  i

$\frac{\rho_{\omega(\min)}}{\rho_H}$  dla  $Q_H$  odczytanych z nomogramów ryc. 3 i ryc. 4 (dla współrzędnych  $\mu^*$ ,  $v$  i  $\mu^*$ ,  $v_{LP\alpha}$  — współrzędna LP $\alpha$  dla danego  $\mu^*$ ) tak jak podano na ryc. 6 p. IV—VI.

7. Dla krzywych typu QH ( $Q_1 > Q_2 > Q_3 < Q_4$ ), gdy na krzywych fazowych obserwuje się  $\alpha_{\min I}$  i  $\alpha_{\min II}$  (ostatnie w formie przecięcia) ogólnego przecięcia wszystkich izolinii brak i rozwiązanie należy oprzeć wyłącznie na funkcjach [1], [2], tj. nomogramie ryc. 1 oraz ryc. 3 i ryc. 4<sup>5</sup>.

8. Podczas interpretacji krzywych wielowarstwowych należy pamiętać, że otrzymywana wielkość  $\mu$  jest wielkością fikcyjną i stąd obliczeń wielkości oporności równoważnej pierwszej warstwy ( $Q_e$ ) należy dokonywać na podstawie określonych wielkości  $S$ ;  $S_H = \frac{h_h}{\rho_H}$  oraz  $h_e = \frac{H}{1+v}$ .

9. Wybór składowych pola elektromagnetycznego do sondowania dokonywany powinien być zgodnie z kryteriami podanymi w odpowiedniej literaturze fachowej.

10. Przykład interpretacji. Z krzywej sondowania jak to podaje ryc. 6 odczytujemy wielkości podane w opisie punktu I. Punkt II ilustruje obliczanie wartości izolinii. Osie współrzędnych ryc. 6 pokrywamy z odpowiednimi osiami najpierw nomogramu ryc. 1, a następnie ryc. 2 i przenosimy z nich izolinie  $\alpha_{\min} = -18^\circ$ ,  $\frac{\lambda_1(\rho_{\min})}{\lambda_1(\alpha_{\min})} = 1,55$ ,  $\frac{\rho_{\omega(\min)}}{\rho_{\omega(\min)}} = 1,70$ , które jak wi-

dać na ryc. 6 przycinają się w dwu punktach rozdzielonych linią LP $\alpha$ . Ponieważ podana na ryc. 6 krzywa fazowa ( $\alpha$ ) posiada wyraźne jedno minimum, to poprawnym rozwiązaniem jest rozwiązanie na lewo od LP $\alpha$ . Pokrywamy osie ryc. 6 z nomogramem ryc. 3 i pod punktem przecięcia odczytujemy  $\frac{\rho_{\omega(\min)}}{\rho_1} =$

$= 0,79$ , a następnie zestawiamy z nomogramem ryc. 4, gdzie pod punktem przecięcia odczytujemy  $\frac{\rho_{\omega(\min)}}{\rho_H} = 1,0$  skąd tak jak podano w p. III ryc. 6 obliczamy  $Q_1$  i  $Q_H$ .

Gdyby nie istnienie warstwy „ekranującej” zaznaczającej się dużymi maksimami obu krzywych sondowań — otrzymane wielkości  $Q_1$  i  $Q_H$  wystarczyłyby do pełnych dostatecznie dokładnych obliczeń wymienionych w p. 4 tekstu. Z innych źródeł wiadomo jest, że stosunek oporności  $Q_H$  ( $\approx 0,58$ ) do nadległej warstwy „ekranującej” jest rzędu  $\frac{1}{19}$ , tj.  $\mu^* = 0,053$ . Dla wartości tej ( $\mu^* \approx 0,053$ ) na nomogramie ryc. 1 odczytujemy  $v_{LP\alpha} = 1,9$  (patrz ryc. 6,

p. IV). Wynika stąd, że  $v = 1,5 < v_{LP\alpha}$  w związku z czym należy wprowadzić małe poprawki  $C_1$  i  $C_H$  odpowiednio do obliczonych  $Q_1$  i  $Q_H$ . Poprawki oblicza się ze stosunku izolinii  $\frac{\rho_{\omega(\min)}}{\rho_1}$  i  $\frac{\rho_{\omega(\min)}}{\rho_H}$  dla punktów

( $\mu^*$ ,  $v$ ) i ( $\mu^*$ ,  $v_{LP\alpha}$ ) tak jak podano to w p. V na ryc. 6. Korekta i końcowe obliczenia podane są w pp. VI—VII ryc. 6. Dla porównania należy podać, że błędy bez wprowadzenia poprawek odpowiednio wynoszą  $\Delta H = +10\%$ ,  $\Delta h_3 = +10\%$ , a po ich wprowadzeniu  $\Delta H = +3\%$  i  $\Delta h_3 = +3\%$ .

#### PROBLEM WYBORU ROZSTAWU SONDOWANIA ( $r$ )

Aby wykorzystać do interpretacji zbiory teoretycznych krzywych jak wskazuje teoria i praktyka (2, 3, 5) sondowanie należy wykonywać na rozstawie  $r = 8-12 H$ . Dokonywanie obliczeń zbiorów krzywych teoretycznych dla mniejszych wartości  $\frac{r}{H}$  (co jest jednoznaczne z wprowadzeniem dodatkowego parametru krzywych), pomijając znaczne trudności matematyczne, jest praktycznie bezcelowe. Wynika to z faktu nieznamości parametru  $\frac{r}{H}$ , który jest głównym przedmiotem interpretacyjnych określeń.

W pracy B. S. Eniensteina (3) podaje się wykres funkcji:

$$\frac{r}{H} = \beta \frac{\lambda}{H}$$

z której dla znanych wielkości  $\frac{r}{H}$  można określić

poprawkę  $\beta$  i następnie wprowadzić ją do obliczeń głębokości  $H$ . Z wymienionych wyżej względów (nieznana głębokość  $H$ ) poprawka taka jest przybliżona i dla dostatecznego określenia wymaga kolejnych przybliżeń interpretacyjnych. Z wyrażenia funkcji (3—6) wynika, że przyjmując stosunki wielkości pomierzonych przy tym samym rozstawie „ $r$ ” wyklucza się problem wpływu niedoboru faktycznego rozstawu sondowania (w stosunku do dotychczasowych założeń interpretacyjnych).

Dokonując w określonych warunkach geologicznych umiejętnego wyboru składowej pola do sondowania w oparciu o podaną metodykę interpretacji rozstaw „ $r$ ” może być skrócony do  $3H$ . Powyższe w porównaniu do  $10H$  (jak łatwo obliczyć ze współczynników sondowania dla  $E_x$  i  $B_z$ ) dają dla składowej elektrycznej ( $E_x$ )  $\frac{1000}{27} = 37$  razy większy efekt energetyczny,

a dla składowej magnetycznej ( $B_z$ )  $\frac{10\,000}{81} = 123,5$  ra-

zy. Praktyczna wartość przedstawionego rzędu cyfr nie wymaga komentarzy. Uogólniając tylko należy podkreślić, że przy podanej metodyce interpretacji sondowania częstotliwościowe zabezpieczone w źródła mocy tego samego rzędu, co sondowania elektryczne prądem stałym są w stanie osiągać głębokości penetracji w znacznie gorszych warunkach geoelektrycznych taką samą jak ostatnie w korzystnych<sup>6</sup>.

Powyższe w zestawieniu z podanym wcześniej zakresem możliwości interpretacji bezparametrycznej w stosunku do sondowań prądem stałym (w jednoznaczny sposób określa sondowanie częstotliwościowe jako prospekcyjnie najkorzystniejsze. Dla potwierdzenia dokonanych wniosków odnośnie do możliwości znacznego skrócenia rozstawu sondowania „ $r$ ” i prostej interpretacji oraz wyjaśnienia pominiętych wcześniej operacji interpretacyjnych, rozpatrzmy jeszcze przykład interpretacji krzywych połowych sondowania elektromagnetycznego wykonanych przy  $r = 8000$  m dla głębokości podłoża  $H = 2100$  m. tj.

<sup>6</sup> Pod terminem „korzystne” i „niekorzystne” warunki geoelektryczne rozumiemy brak lub obecność w przekroju znacznych przewarstwień wysokooporowych, dających odpowiednio dużą makroanizotropię.

<sup>5</sup> Ze względu na brak krzywych teoretycznych typu QH dla małych wartości  $h_2$  i  $h_3$  sposób interpretacji ich nie został skontrolowany.

przy  $\frac{r}{H} = 3,8$ . Na ryc. 7 przedstawiono zestawienie

obu wymienionych krzywych. Dla wyjaśnienia dodajmy, że w tym przypadku w odróżnieniu od poprzednich lewa asymptotyczna część krzywej wyznacza  $\rho\omega = 2\varrho_1$  wobec czego do operacji obliczeniowych wartości  $\rho\omega$  należy przyjmować dwa razy mniejsze. Ponieważ na krzywej fazowej występują dwa minima ograniczamy się do interpretacji tylko według funkcji [1], [2] nomogramu ryc. 1. Z krzywej fazowej odczytujemy  $\alpha_{\min I} = -24^\circ$ ,  $\alpha_{\min II} = -20^\circ$ . Na nomogramie ryc. 1  $\alpha_{\min I} = -24^\circ$  odczytujemy, że  $\mu = 0,28$  (patrz wykres funkcji [2]). Współrzędna  $\mu = 0,28$  przecina izolinie  $\alpha_{\min II} = -20^\circ$  w punkcie, gdzie  $\nu = 7,7$ . I tak określiliśmy na nomogramie punkt o współrzędnych  $\nu = 7,7$ ,  $\mu = 0,28$ . Wyznaczając punkt ten na nomogramie ryc. 3 otrzymamy:

$\frac{\rho\omega(\min)}{\rho l} = 0,675$ , a na nomogramie ryc. 4  $\frac{\rho\omega(\min)}{\rho H} = 0,735$ . Skąd po odczytaniu z krzywej oporności w minimum  $\frac{1}{2} \rho\omega(\min) = 1,6$  otrzymamy:  $\varrho_1 = \frac{1,6}{0,675} = 2,37 \Omega\text{m}$ ,  $\varrho_H = \frac{1,6}{0,735} = 2,18 \Omega\text{m}$ . Ponieważ  $S = \frac{\sqrt{10^7}}{2\pi} \cdot \frac{1}{\sqrt{f}} = \frac{3160}{6,24} \cdot \frac{1}{5,65} = 900 \text{ m}\Omega$ , to  $H = 2130 \text{ m}$ ,  $h_e = 245 \text{ m}$ ,  $h_4 = 1885 \text{ m}$ ,  $\rho_e(\mu) = \frac{2,18}{0,28} = 7,8 \Omega\text{m}$ , a  $\varrho_{e(s)} = 7,0 \Omega\text{m}$ .

### SUMMARY

It was proved on an analysis of the functions (1—4) shown on Figs. 1 and 2 that for the cross sections of H — type (in the intervals of practical changes of magnitudes V, M) the equivalence principle (for constant current) does not exist in the classical notion. A conclusion presented in the paper illustrates the comparison of Fig. 2 with Fig. 5 (the last one reveals, for constant current, a characteristic inclination of isolines at an angle of  $45^\circ$ ).

A visible multiformity of solutions of the functions (3—4) shown on Fig. 2 excludes any introduction of functions (1—2) on Fig. 1. A solution for interpretation of three-layer and multilayer cross sections may be obtained by introduction of functions (5—6) on Figs. 3 and 4, and by putting the magnitude S along the right asymptote. Examples given by means of nomograms are presented on Figs 6 and 7.

On the basis of the material here examined the author stresses a high value of the frequency sounding method in prospecting works, simplicity and exactness of the proposed technique of interpretation, and practical possibilities of reduction of sounding point distances.

Różnica  $\varrho_{e(\mu)}$  i  $\varrho_{e(s)}$  wskazuje, że „pierwsza” z trzech warstw nie jest jednorodna, lecz przedstawia pewną warstwę równoważną. Otrzymana głębokość H w porównaniu z danymi odwiertu ( $H = 2100 \text{ m}$ ) daje błąd  $\Delta H < 1,5\%$ , a w porównaniu do wyników interpretacji podanej w (3)  $\Delta H = < 0,3\%$ ,  $\Delta h_H < 0,6\%$ ;  $\Delta h_e = 2\%$ , przy czym omówiony aparat interpretacyjny w stosunku do wymienionego jest niewspółmiernie prostszy i szybszy.

### LITERATURA

1. Dzwinel J. — Interpretacja wielowarstwowych krzywych głębokich sondowań elektrycznych sposobem równoważnych oporności. Temat badań Instytutu Naftowego nr GF-6 1963—64. IN Kraków.
2. Emienstein B. S. — K metodikie interpretacji krzywych elektromagnitnych zondirowanij. Izv. AN SSSR, Ser. geof. 1957, nr 12.
3. Emienstein B. S. — Ob apparaturie i niekotorych riezultatatach po czastotnym zondirowaniam. Elektro-magnitnoje zondirowanije i magnito-telluriczeskije metody razwiedki. Izd. Leningr. Univ. 1963.
4. Tichonow A. N., Szachsuwarow D. N., Rybakowa J. W. — O wozmoznostach razliczenija ekwiwalentnych razriezow pri ispolzowanii pieriemennych elektromagnitnych polej. Izv. AN SSSR, Ser. geof. 1959, nr 8.
5. Wanjam L. L. — Niekotoryje woprosy teorij czastotnych zondirowanij gorizontalnych naplastowanij. Prikl. geof. wyip. 23, 1959.

### РЕЗЮМЕ

На основе анализа, представленных на рис. 1, 2 функций (1—4), доказывається, что для разрезов типа H (в пределах практического изменения величин  $\nu$ ,  $\mu$ ), принцип эквивалентности в классическом понимании (для постоянного тока) не существует. Указанный вывод наглядно иллюстрирует сравнение рис. 2 с рис. 5 (последний для постоянного тока содержит характерный наклон изолиний под углом  $45^\circ$ ).

В общем неоднозначность решений функций (3, 4) (рис. 2) исключается введением функции (1, 2) (рис. 1).

Решения для интерпретации трехслойных и многослойных разрезов достигаются введением функций (5—6) (рис. 3, 4) и отсчетом по правой асимптоте величины S. Примеры номографической интерпретации представляют рис. 6 и 7.

На основе рассмотренного материала в статье подчеркивается высокую разведочную ценность метода частотного зондирования, простоту и точность предложенного способа интерпретации и практическую ценность возможности сокращения разносов зондирования.