

PROFILOWANIE GĘSTOŚCIOWE

WSTĘP

Gęstość skały jest związana z gęstością tworzących ją minerałów, płynów wypełniających jej pory oraz z wielkością przestrzeni zajętej przez pory w jednostce objętości, której gęstość jest poszukiwana. Należy jednak zaznaczyć, że w wyniku pomiaru gęstości próbek z rdzenia na powierzchni uzyskuje się różne wyniki zależnie od użytej metody pomiarowej, warunków rdzeniowania, wydobywania i przechowywania próbek. Gęstość skał *in situ* w otworze w pobliżu jego ścianek różni się od gęstości pomierzonej na próbkach z rdzenia zarówno z powodu innych warunków ciśnienia i temperatury, jak i różnego stopnia naruszenia procesem wiercenia naturalnej struktury skały w rdzeniu i w pobliżu ścian otworu.

Wykorzystanie do pomiaru gęstości zmian w polu grawitacyjnym, spowodowanych różnicami w gęstości skał, nie wyszło poza badania doświadczalne. Jak dotychczas zadawające wyniki daje jedynie metoda, oparta na zjawisku rozpraszania promieni gamma przez elektrony powłok atomowych.

USTALANIE PARAMETRÓW POMIAROWYCH

Do pomiaru gęstości skał w otworach, opartych na rozpraszaniu comptonowskim promieni gamma, stosuje się w Polsce aparatury karotażowe, używane do konwencjonalnego profilowania elektrycznego i promieniotwórczego. Przyrząd głębinowy, w którym znajduje się źródło promieni gamma i detektor rozproszonego promieniowania gamma, jest inaczej zbudowany, niż w przypadku przyrządu do karotażu gamma i neutron gamma.

Jako źródło promieni gamma używa się dotychczas izotopu kobaltu ^{60}Co albo cezu ^{137}Cs .

Energia promieni gamma emitowanych przy rozpadzie promieniotwórczym kobaltu wynosi 1,1 i 1,3 MeV. Okres półrozpadu kobaltu (^{60}Co) wynosi 5,2 lat. Źródło umieszczone jest w komorze w osłonie ołowianej, naprzeciw cylindrycznego otworu, skierowanego promieniowo do skał, otaczających przyrząd głębinowy w czasie jazdy w otworze. W otworach pionowych przyrząd głębinowy jest przyciskany sprężynami do ścian. W otworach nachylonych powyżej 2° osłona ołowiana, osadzona mimośrodowo na osi, zajmuje położenie równoległe do ścian otworu, a cylindryczny otwór, prowadzący od komory ze źródłem skierowany jest prostopadłe do ścian.

Do detekcji rozproszonych promieni gamma używany jest albo licznik-Geigera-Müllera, albo licznik scyntylacyjny. Odległość od źródła do środka liczników Geigera-Müllera lub do środka kryształu scyntylatora wynosi najczęściej 35, 50 i 80 cm. Detektor znajduje się mniej więcej na tej samej osi, co i źródło, to znaczy przy ekscentrycznym położeniu źródła w stosunku do osi przyrządu głębinowego również i detektor jest przesunięty ekscentrycznie tak, aby oba znajdowały się w pobliżu ścian otworu. W niektórych przyrządach cylindryczny otwór, prowadzący od źródła do skał nie jest skierowany prostopadłe do ścian otworu, a pod pewnym nachyleniem do góry. W takim przypadku i od detektora, znajdującego się w osłonie ołowianej, prowadzi otwór w dół ukośnie do skał.

Izotop promieniotwórczy cezu ^{137}Cs , również używany jako źródło promieni gamma przy profilowaniu gęstościowym, ma okres półrozpadu znacznie dłuższy

— 30 lat. Jednak energia emitowanych przez niego promieni gamma jest niższa i wynosi 0,6 MeV. Izotop ten w przyrządach głębinowych do profilowania gęstościowego jest zwykle używany w połączeniu z detektorem scyntylacyjnym.

Szybkość jazdy z przyrządami głębinowymi do profilowania gęstości w otworze dostosowuje się do warunków technicznych i geologicznych pomiaru.

Kwanty rozproszonych promieni gamma docierają do detektora z różną częstotliwością. Pojemność (C_2) i opór (R_2), włączone równolegle w obwód detektora — licznika Geigera-Müllera lub scyntylatora — reagują (dają prąd) proporcjonalnie do częstości docierania impulsów, tak że spadek napięcia na oporze w reostacie (potencjometrze) jest proporcjonalny do szybkości liczenia impulsów przez liczniki.

Droga jazdy przyrządu głębinowego w otworze w okresie równym jednej stałej czasowej (iloczyn oporu i pojemności — $R_2 C_2$ w obwodzie pomiarowym prędkości liczenia) odpowiada pewnej grubości warstw. Minimalna grubość warstw, które powinny być jeszcze wydzielane na profilu gęstościowym, powinna być określona przez geologa — opiekuna otworu. Wielkość tej minimalnej grubości warstw wpływa na wybór odpowiedniej prędkości jazdy z przyrządem głębinowym w czasie profilowania. Dlatego, aby warstwa o podanej minimalnej grubości dobrze zaznaczyła się na krzywej (aby zmniejszenie amplitudy odchylenia krzywej naprzeciw pokładu o takiej grubości nie było większe od 14%) czas znajdowania się przyrządu głębinowego naprzeciw tej warstwy powinien być nie mniejszy od dwukrotnej wielkości stałej czasowej (2τ) obwodu pomiarowego prędkości liczenia. Czas ten równa się ilorazowi minimalnej grubości pokładu ($h_{\min}$) i prędkości jazdy (V), a prędkość jazdy

$$V = \frac{1800h_{\min}}{\tau} \text{ m/godz. (tab.)}$$

Prędkości 450 m/h nie należy jednak przekraczać ze względu na zachodzącą wówczas utratę kontaktu między przyrządem głębinowym a ścianami otworu (skakanie przyrządu).

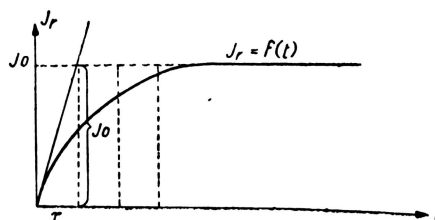
Emisja promieni gamma ze źródła kobaltowego, czy innego i z rozpadu promieniotwórczego pierwiastków radioaktywnych zawartych w skałach określona z równania $\gamma_t = \gamma_0 : e^{-\lambda t}$ będzie wielkością średnią.

Rzeczywista wielkość tej emisji ulega odchyleniom od średniej, odchyleniom określonym statycznie i zwanych fluktuacjami statystycznymi. Rejestrowana w sposób ciągły ilość impulsów, pochodzących z rozproszonego przez skały promieniowania gamma (wykazuje w mniejszym lub większym stopniu fluktuacje, utrudniające rozwarstwienie profilu na pokłady o większej i mniejszej promieniotwórczości. Na wielkość zarejestrowanych fluktuacji wywiera duży wpływ wielkość stałej czasowej obwodu pomiarowego prędkości liczenia, do której proporcjonalny jest czas **uprzeciętnienia**. Pojemność C_2 i opór R_2 , włączone równolegle w obwód detektora (z rejestratorem włączonym w szereg z oporem R_2), określają czas wzrostu natężenia prądu na wyjściu (I_r) do 63% wielkości stałej, charakterystycznej dla danego pokładu (I_0). Styczna do krzywej (ryc. 1) określonej równaniem $I_r = (I_0/t)$, prowadzona w punkcie $t = 0$ (moment dojścia pierwszego impulsu z pokładu) przecina się z prostą $J_0 = \text{const.}$ w punkcie, gdzie odcięta jest wielkością określoną jako „stała czasowa” (τ).

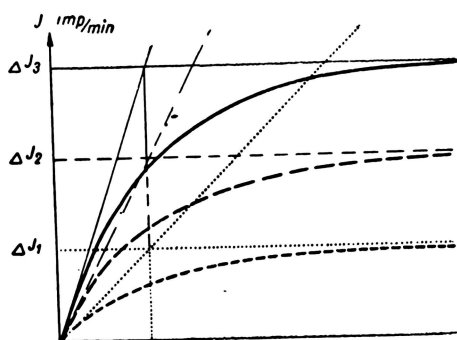
Im mniejsze τ , tym krótszy jest czas, w ciągu którego zostanie osiągnięte I_0 z określonym dopuszczal-

DÓPUSZCZALNA SZYBKOŚĆ JAZDY PRZYRZĄDŹ
GŁĘBINOWEGO W M/GODZ.

Stała czasowa sek.	Minimalna grubość warstw w me- trach zaznaczonych na krzywej z dop- uszczalnymi skażeniami			
	0.5	1	2	4
6	150	300	600	1200
12	100	200	300	600
18	50	100	200	400



Ryc. 1.



Ryc. 2. $I = f(t)$ dla różnych ΔI .

nym błędem. Im mniejsze jednak τ tym krótszy jest czas uprzedzenia prędkości liczenia, a więc tym większe będą rejestrowane fluktuacje statystyczne. Zwiększanie jednak stałej czasowej wymaga zmniejszenia prędkości jazdy przyrządu głębinowego, a zatem wydłużenia czasu pomiaru. Tak więc stała czasowa powinna być najmniejszą i taką, przy której błąd z powodu fluktuacji statystycznych nie przekracza wielkości dopuszczalnej. Stałą czasową najlepiej dobiera się wykonując kilka profili (przy różnych stałych czasowych) charakterystycznego odcinka otworu (przy niedużych stałych prędkościach jazdy). Wybiera się stałą czasową, przy której uzyskuje się najlepszą jakość zapisu.

Optymalną wartość stałej czasowej, przy prawdopodobnym błędzie równym wielkości prawdopodobnych odchyłań krzywej pod wpływem fluktuacji nieprzekraczającym 5%, można otrzymać z następującego wzoru:

$$\tau = \frac{45(N_{max} + N_{min})}{(N_{max} - N_{min})^2}$$

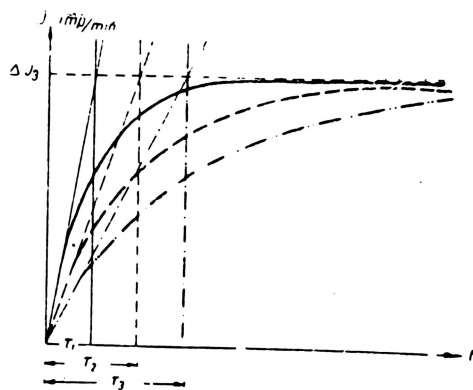
N_{max} — maksymalna ilość impulsów w jednostce czasu,

N_{min} — minimalna ilość impulsów w jednostce czasu,

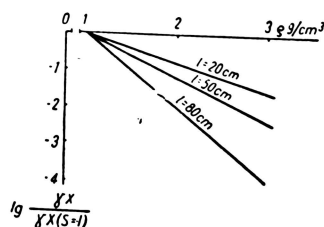
Dla zastosowania tego wzoru potrzebna jest znajomość N_{max} i N_{min} .

Przyjmując wielkość dopuszczalnej średniej względnej kwadratowej fluktuacji $\frac{\delta I}{I}$ (np. 0,05) wielkość τ otrzymamy ze wzoru:

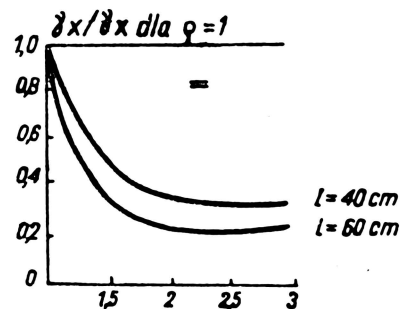
$$\frac{\delta I}{I} = \pm \frac{1}{\sqrt{2I\tau \cdot \tau}}$$



Ryc. 3. $I = f(t)$ dla różnych τ .



Ryc. 4.



Ryc. 5.

I_{sr} — średnia intensywność promieniowania w skali zapisu.

Błąd z powodu fluktuacji jest tym większy, im mniejsza jest ilość impulsów w jednostce czasu (szybkość liczenia).

Dlatego dla podwyższenia szybkości liczenia w charakterze indykatora promieniowania gamma stosuje się w GK (karotaż gamma) i NGK (karotaż neutron gamma) równoległe połączenie kilku liczników. Każdy z tych liczników ma swój obciążeniowy opór R_1 i swą przejściową pojemność C_1 , określającą czas stanu nieroboczego licznika (10^{-4} do 10^{-5} sek). Wszystkie liczniki mają wspólny schemat elektroniczny i wspólny obwód do mierzenia szybkości liczenia (wspólne R_2 i C_2).

Stała czasowa określa interwał czasu, w ciągu którego zostanie osiągnięte 63% różnicy natężeń promieniowania między dwiema warstwami (amplitudy).

Na ryc. 2 pokazano przebieg krzywych $I = f(t)$ na granicy dwóch warstw, gdy różnica natężeń promieniowania między nimi wynosi ΔI_1 , ΔI_2 , ΔI_3 .

Na ryc. 3 uwidoczniono przebieg krzywych $I = f(t)$ przy różnicy natężeń między dwiema warstwami ΔI_3 dla różnych stałych czasowych (τ).

Z analizy krzywych na ryc. 2 i 3 wynika, że przy stałej prędkości jazdy z przyrządem głębinowym granica dwóch warstw o różnej intensywności promieniowania zaznaczy się tym mniej wyraźnie, im mniejsza jest różnica natężeń promieniowania między warstwami i im dłuższa jest stała czasowa. Aby granice warstw zaznaczyły się wyraźnie należałoby więc dawać stałą czasową możliwie małą. Z obniżeniem jednak stałej czasowej nie można iść za daleko, gdyż minimalna wielkość stałej czasowej jest ograniczona wielkością dopuszczalnej średniej względnej kwadratowej fluktuacji $\delta I/I$.

Ze względu na zmniejszanie się intensywności promieniowania źródła i konieczność kontroli pracy elementów całej aparatury w zespole przed wyjazdem na badany otwór należy wykonać kontrolne pomiary w otworach, odwierconych w blokach skalnych o znanej gęstości, umieszczonych w próbnych studniach.

Rejestrację natężenia promieniowania gamma na otworach należy prowadzić przy odpowiednim diapazonie pomiarowym I, II lub III odpowiadającym 100,

200 i 300 impulsom na minutę na 1 cm skali zapisu w obwodzie karotażu gamma i 300, 600 oraz 900 impulsom na minutę na 1 cm w obwodzie karotażu neutrongamma (przy pierwszym zakresie pomiarowym: 0,5 m V/cm, umożliwiającym dostateczne zróżnicowanie i ciążłość profilu — odchylenia nie mniejsze od 6 cm).

ZWIĄZKI POZWALAJĄCE NA ILOŚCIOWĄ OCENĘ WYNIKÓW

Wynik profilowania gęstościowego zależy z jednej strony od mocy źródła promieniowania, energii emitowanych przez źródło kwantów gamma i odległości od źródła do indykatora, a z drugiej strony od średnicy otworu, gęstości płuczki i gęstości skał, otaczających przyrząd głębinowy w momencie pomiaru.

Moc źródła, energia kwantów i odległość od źródła do detektora (l) są odpowiednio dobierane. Pozostałe czynniki są raczej z góry przesądzone. Kwant gamma, po wyemitowaniu ze źródła, zanim ewentualnie dotrze do indykatora ulega jedno, dwu lub wielokrotnemu rozproszeniu na elektronach powłok atomów korpusu przyrządu głębinowego, płuczki, osadu ilastego i samej skały.

Można obliczyć ilość kwantów gamma (γx), docierających do punkтового detektora, wyemitowanych z punkтового źródła o określonej wydajności (ilości kwantów na jednostkę czasu) i ulegających tylko jednokrotnemu rozproszeniu. Logarytm stosunku γx do γ dla $\rho = 1$ w funkcji gęstości ośrodka (ρ) przy różnych długościach sond (l) przedstawiono za Barsukowem i in. (1) na ryc. 4. Z wykresu tego wynika, że 1) zwiększenie ρ i l doprowadza do zmniejszenia γx , 2) zwiększenie l powiększa zależność γx od gęstości ośrodka.

Zmiana ilości kwantów gamma ($d\gamma$) na odległości dx od punktu odległego od źródła o x , do którego dociera γ kwantów jest proporcjonalna do gęstości ośrodka (ρ), do γ i do dx .

$$d\gamma = -c\rho\gamma dx$$

$$\gamma x = \gamma \int_r \cdot e^{-c\rho x}$$

Szybkość liczenia w punkcie docelowym jest więc wprost proporcjonalna do mocy źródła ($\gamma \int_r$) i przy stałej odległości od źródła do celu ($x = 1$) szybkość liczenia jest proporcjonalna do $e^{-c\rho}$.

I. G. Diadkin (3) rozpatrywał rozpraszanie się kwantów γ jako swego rodzaju proces dyfuzji.

Na ryc. 5 według wykresów Diadkina zestawiono dwie teoretyczne krzywe:

$$\frac{\gamma x}{\gamma \text{ dla } \rho = 1} = f(\rho)$$

przy odległościach od źródła do detektora $l = 40$ cm i $l = 60$ cm. Przy zwiększonym l widoczny jest szybszy spadek ilości kwantów, docierających do celu (γx) wraz ze wzrostem gęstości skał.

Kwanty gamma z energią kilku MeV wytrzymują 10—15 zderzeń zanim zostaną pochłonięte na drodze fotoelektrycznej. Przybliżenie dyfuzyjne nie może być stosowane do przypadków, w których energia kwantów gamma jest większa, gdyż wtedy średnia długość swobodnego przebiegu kwantu gamma jest tego samego rzędu, co i używane odległości: źródło — detektor. Przy źródłach kobaltowych (Co^{60}) dane teoretyczne z wzorów Diadkina odpowiadają eksperymentalnym.

Jako repery dla ustalania gęstości pozostałych skał w profilu otworu mogą służyć pokłady węgla kamiennego, soli, warstwy anhydrytów i znacznie poszerzone części otworu.

Kwanty gamma ulegają rozproszeniu na elektronach powłok atomowych. Wielkość więc tego rozproszenia będzie zależała od ilości (n) elektronów w jednostce objętości skały ($n = N_0 \frac{Z}{A} \rho N_0$ — liczba

Avogadra = $6,023 \times 10^{23}$, Z — liczba atomowa pierwiastka, A — liczba masowa pierwiastka, ρ — gęstość skał. $\frac{Z}{A}$ w warunkach spotykanych w otworach

niewiele odbiega od 1/2 i tak np. w dość skrajnych przypadkach dla soli wynosi 1/2,0876, a dla gipsu 1/1,9566.

Gęstość płuczki jest na ogół mniejsza od gęstości skał, przeciętych otworem, w którym znajduje się płuczka. Wpływ płuczki na wynik profilowania gęstościowego będzie tym większy, im większa jest gęstość skały, a tym mniejszy im większa gęstość płuczki. Kawerny w ścianach otworu wywierają duży wpływ na wynik. Dla uwzględnienia wpływu kawern potrzebny jest profil średnicy otworu.

Wpływ plastra iltu na ściankach otworu jest tym większy, im jest on grubszy i im jest mniejsza jego gęstość w porównaniu do gęstości skały. Według Pickella i Heacocka (6) wpływ plastra iltu o grubości poniżej 6 mm i przy niezbyt dużej różnicy gęstości między nim a skałą może być pominięty.

Piaskowce przy porowatości 15% i przy 100% nasyceniu słoną wodą mają ciężar objętościowy 2,45 g/cm³, natomiast przy nasyceniu ich powietrzem pod ciśnieniem 200 atmosfer 2,25 g/cm³. Odpowiednie liczby dla wapieni wynoszą 2,56 i 2,39 g/cm³. Uzyskiwane gęstości z profili gęstościowych w USA według Pickella i Heacocka (6) odchylają się przeciętnie o $\pm 0,03$ g/cm³, maksymalnie zaś o 0,05 g/cm³. Podane przez nich błędy dotyczą danych z otworów o średnicy 12 1/4" i 8 3/4" o ścianach gładkich z wymiarem średnicy wg dłuta i obejmują zakres gęstości od 2,26 do 2,75 g/cm³, a więc dość duży.

Wyliczenia Filippowa (5), dotyczące jednokrotnego rozproszenia kwantów gamma, przy uwzględnieniu otworu o średnicy 40 cm z płuczką o gęstości 1 g/cm³ i skał o gęstości 2,8 g/cm³ przy odległościach: źródło — detektor 50 i 80 cm oraz przy energiach kwantów γ 1,25 i 2,62 MeV wykazały, że:

1) rozpraszanie w płuczce jest znacznie większe niż w skałach, dlatego należy stosować przyciśnięcie przyrządu głębinowego do ścian otworu;

2) zwiększenie energii z 1,25 do 2,62 MeV, a więc około 2,1 razy, o tyle samo zwiększyło głębokość badania;

3) zwiększenie l doprowadza do zwiększenia częstości promieniowania, przychodzącego ze skały, a więc zwiększa dyferencjację skały;

4) na granicy płuczka — skała występuje skok natężenia równy stosunkowi gęstości obu ośrodków.

Jeżeli korpus przyrządu głębinowego wykonany jest z duraluminium, to 72 do 37% ogólnego promieniowania, dochodzącego do detektora, pochodzi z wielokrotnego rozpraszania, natomiast przy korpusie żelaznym tylko 34 do 26% (zależy to od gęstości ośrodka — podane procenty dotyczą ośrodków o gęstości 2 i 3 g/cm³). Korpus żelazny obcina widmo promieniowania gamma w obszarze małych energii; pozwala to na wykorzystanie w profilu w pierwszym przybliżeniu danych po jednokrotnym rozproszeniu.

Jak wynika z podanego wzoru zależność γx (przy małych l) od gęstości skały jest niemal liniowa, zwłaszcza w obszarze o małych wartościach gęstości. Ze zwiększeniem długości sondy zależność ta zbliża się do wykładniczej. Czułość więc tej metody dla małych i dużych wartości gęstości jest niejednakowa. W praktyce przyjęły się sondy o długości 40—50 cm.

ZASTOSOWANIE

Gęstości skał ustalone z profilu rozproszonego promieniowania mogą być wykorzystane do: 1) interpretacji obserwacji grawimetrycznych i sejsmicznych, 2) korelacji stratygraficznej między otworami, 3) ilościowej oceny porowatości skał, 4) określenia wysokości podniesienia cementu poza rurami.

Różnice w intensywności rozproszonego promieniowania gamma są wykorzystywane do wydzielania pokładów węgla kamiennego, mających znacznie mniejszą gęstość od występujących w ich stropie i spągu

łupków oraz piaskowców. Czynnione przez Przedsiębiorstwo Poszukiwań Geofizycznych próby wprowadzenia profilowania gęstości w otworach rozpoznawczych za węglem brunatnym dały również zachęcające rezultaty. Instytut Geologiczny wprowadza profilowanie gęstościowe w otworach oporowych i poszukiwawczych tak za węglem brunatnym, jak i za rudami.

Podane zasady ustalania parametrów pomiarowych i podstawowe związki dla ilościowej oceny uzyskanych wyników przeanalizowano na przykładzie profilowania gęstościowego, wykonanego w otworze Urzuty. Biorąc pod uwagę pomierzoną w tym otworze maksymalną i minimalną liczbę impulsów na minutę, należałoby (dla zachowania 5% prawdopodobnego błędu, spowodowanego fluktuacjami statystycznymi) stałą czasową obwodu integratora w detektorze promieniowania gamma dać o wielkości minimum 0,73 sek. Wychodząc natomiast ze średniego zarejestrowanego natężenia, w tych samych warunkach, stała czasowa powinna wynosić minimalnie 1,5 sek. Zastosowaną przy pomiarze w otworze Urzuty 12-sekundowa stała czasowa zmniejsza błąd pomiaru spowodowany fluktuacjami statystycznymi poniżej 5%. Zastosowanie jednak tak wysokiej stałej czasowej, przy prędkości pomiaru 250 m/h, uniemożliwia wydzielanie i analizę w przekroju otworu warstw o grubości poniżej 1,7 m, przy warunku zachowania 14% dokładności pomiaru różnic natężeń między poszczególnymi warstwami.

Z zestawienia krzywych: 1) natężenia rozproszonego promieniowania gamma na granicy dwóch warstw w zależności od czasu przy różnych amplitudach natężenia między nimi; 2) natężenia w zależności od czasu, przy danej różnicy natężenia między dwiema warstwami, przy różnych stałych czasowych, wynika, że przy stałej prędkości jazdy z przyrządem głębinowym, granica dwóch warstw powodujących różną intensywność rozproszonego promieniowania gamma zaznaczy się tym mniej wyraźnie: a) im mniejsza jest różnica natężeń rozproszonego promieniowania gamma między warstwami oraz b) im dłuższa jest stała czasowa.

Aby granice warstw zaznaczyły się wyraźnie należałoby więc dawać stałą czasową możliwie małą. Jednak w otworze Urzuty mimo zastosowania średniej stałej czasowej granice warstw zostały zarejestrowane dostatecznie wyraźnie dzięki stosunkowo małej prę-

dkości jazdy oraz dzięki dużej różnicy w gęstości skał (sól kamienna, łupki ilaste, wapienie, anhydryty), stosunkowo dużej mocy źródła (33 mCu) i korzystnej odległości od źródła do detektora (55 cm). Dzięki dużej mocy źródła wpływ promieniowania gamma z rozpadu naturalnego był minimalny, poniżej 2%, a 55 cm odległość detektora od źródła pozwoliła z jednej strony na dostateczny wpływ zmian gęstości samych skał, z drugiej zaś strony nie spowodowała zbytniego spadku ilości rozproszonych kwantów gamma, dochodzących do detektora, oraz pozwoliła na znaczne eliminowanie wpływu kawern w otworze o średnicy 137 mm.

Zastosowane źródło kobaltowe o energii emitowanych kwantów gamma (1,1 — 1,3 MeV) dało również dostateczny ich zasięg głębokościowy.

Dla dokładnej ilościowej interpretacji uzyskanych wyników profilowania gęstościowego potrzebna jest dokładniejsza i częsta energetyczna kalibracja źródła oraz aparatury pomiarowej, najlepiej w otworach odwierconych w blokach skalnych o znanej gęstości.

LITERATURA

1. Barsukow, O. A. i inni — Radioaktywne metody issledowanija neftjanyh i gazowych skwazi, Gostoptiechizdat, Moskwa 1958.
2. Chombart L. G. — Well logs in carbonate reservoirs. „Geophysics”, V. 25 1960.
3. Diadkin I. G. — K teorii G.G.K. burowych skwazi. Izv. AN SSSR, Sier. geofizicz. No 4, 1955.
4. Faul H., Tittle C. W. — Logging of drill holes by the neutrongamma method and gamma ray scattering. „Geophysics”, V. 16, No. 2, 1951.
5. Filippow E. M. — K teorii metoda G.G.K. Prikl. Geofiz. 17, 1957.
6. Pickell J. J., Heacock G. — Density Logging. „Geophysics”, No 4, 1960.
7. Woskobochnikow G. M., Bułaszewicz J. — Gamma karotaz na ugodnnych miestoroždienijach Urała i wozmožnost beskiernowogo burienja czasti razwiedocznyh skwazi. Izv. AN SSSR, Sier. geofizicz., No. 1, 1957.
8. Wyllie M. R. J. — Log interpretations in Sandstone Reservoirs. „Geophysics” V. 25, No. 4, 1960.
9. Sokołow M. M. i inni — Primienienie metodow rassiejannyh gamma i beta izluczenij dla rieszenija niekotoryh geologičeskich zadacz. Jadier. geofiz. Wyp. 1961, Gostoptiechizdat, 1962.

РЕЗЮМЕ

По данным гамма-гамма каротажа, проведенного в скважине Ужуты, в статье рассматриваются правила определения параметров измерений и основные формулы количественной оценки полученных результатов.

SUMMARY

On density logging, made in bore hole Urzuty, there are analyzed principles of determining the measurement parameters and fundamental formulae for quantitative estimate of the results obtained.