

KOMPLEKS METOD GEOFIZYKI WIERTNICZEJ STOSOWANYCH W ZSRR DLA CELÓW NAFTOWYCH

UKD 550.83:622.141:553.361/.662(47)''312''

Prowadzone w ZSRR na wielką skalę poszukiwania naftowe realizuje się przeważnie poprzez wiercenia głębokich otworów. Ilość pobieranego rdzenia jest tam znikomo mała (3–5%, a niekiedy do 10%). Cały ciężar rozpoznania przewiercanych utworów spoczywa więc na geofizyce wiertniczej. Program badań geofizyki wiertniczej obejmuje metody stosowane dla uzyskania profilu litologicznego, wydzielenia kolektorów, ich oceny oraz określenia parametrów kolektorskich interesujących horyzontów. Zależy on od rodzaju i charakteru wiercenia.

Dla wierceń oporowych program badań jest maksymalny. Stosuje się wszystkie znane i stosowane metody. Dopiero doświadczenia i wnioski uzyskane z porównania wyników geologicznych, badań laboratoryjnych rdzenia, wód złożowych itp. oraz wyników geofizycznych, pozwalają na określenie optymalnego kompleksu metod dla następnych wierceń w danym rejonie.

W przypadku wierceń strukturalno-poszukiwawczych (poiskowyje skważiny), gdy profil geologiczny jest ogólnie znany, natomiast nieznaną są możliwości występowania interesujących kopalin lub horyzontów ropno-gazowych, głębokości ich zalegania, miąższości itd. — program badań jest dwuczęściowy. Najpierw wykonuje się kompleks podstawowy, a potem na podstawie jego wyników określa się kompleks metod uzupełniających.

Wiercenia konturujące (razwiedocznyje skważiny), stanowiące kontynuację badań danej struktury bądź rejonu mają już program znacznie skromniejszy, opracowany na podstawie wyników badań w otworach strukturalno-poszukiwawczych i oporowych.

Najprostsz, najbardziej skrócony program badań stosuje się w otworach eksploatacyjnych. Jego podstawowym celem jest szybkie określenie głębokości zalegania interesującego (szukanego) horyzontu oraz jego miąższości wraz z oceną kolektorską.

Badania podstawowe obejmują swym zakresem profilowania oporności (PO) dwoma sondami — potencjałową i gradientową oraz profilowania radioaktywne — gamma (PG) i neutron-gamma (PNG). Do tego dochodzą oczywiście badania dla określenia stanu technicznego otworu (PŚr, PK) i jako towarzyszące PS.

PO wykonuje się standartowymi rozstawami elektrod (charakterystycznymi dla danego rejonu) sondy gradientowej i potencjałowej. Długość standartowej sondy gradientowej waha się od 1 m (dla rejonów, gdzie przeważają utwory o niewielkim zasięgu strefy infiltracji aż do 3,5 m, np. dla Sachalinu). Sondę potencjałową otrzymuje się przez przełączenie elektrod zasilających i pomiarowych dla skrócenia czasu operacji w otworze.

Otrzymane profile geofizyczne z badań podstawowych służą do określenia profilu litologicznego oraz programu dalszych badań. Poza tym, układ sond standartowych — potencjałowej i gradientowej, daje informacje (wg zasięgu obu sond) o strefie filtracji i strefie skały nienuaruszonej.

Wszystkie profile z kompleksu podstawowego wykonuje się w pionowej skali głębokości 1 : 500.

W przypadku stosowania płuczki zasolonej zamiast profilowania sondą potencjałową wykonuje się sterowane profilowanie oporności (POst).

Badania dodatkowe, których program ustala się na podstawie wyników badań podstawowych, wykonuje się w pionowej skali głębokości 1 : 200. W skład ich najczęściej wchodzi: sondowanie oporności gra-

dientowe (SOg, czyli BSE), mikroprofilowanie oporności (mPO), sterowane profilowanie oporności (POst), sterowane mikroprofilowanie oporności (mPOst), profilowanie indukcyjne (PI) i profilowanie akustyczne (PA).

Dla profili piaszczysto-ilastych stosuje się głównie SOg — dla określenia oporności rzeczywistej, stanowiącej podstawowy parametr ilościowy. W celu określenia jednorodności horyzontów, cienkich przewarstwień wysokoporowych, dokładnych głębokości zalegania i miąższości — stosuje się mPO bądź POst. SOg ma zastosowanie również niekiedy w otworach eksploatacyjnych dla zbadania strefy filtracji i nasycenia. W Baku, Groznm, Krasnodarze — profiluje się oporności tylko rozstawami standartowymi.

W przypadku płuczki zasolonej lub wierceń nastawionych na wodę mPO nie zdaje egzaminu. Wprowadza się wtedy mPOst, głównie w płuczkach słonych, przy wysokoporowym profilu litologicznym.

W profilach węglanowych SOg stosuje się coraz rzadziej. Duże zasięgi strefy filtracji, zmiany oporności w czasie, bardzo wysokie opory, nie pozwalają na uzyskanie wystarczającej ilości informacji. Wykorzystanie długich sond jest utrudnione przez nawet niewielkie oporowe niejednorodności, powodujące wzajemne ekranowanie, co w rezultacie daje obraz profilu znacznie zniekształcony. Przeważnie stosuje się tu mPO w celu wydzielenia horyzontów przepuszczalnych, a następnie dla określenia porowatości PA bądź PNG. PA zdobywa coraz większe zastosowanie tak dzięki dobrym wynikom, jak i ze względu na duże niebezpieczeństwo stosowania PNG.

Zastosowanie generatora neutronów jest niewielkie, prawie wyłącznie do śledzenia kontaktu ropa-woda, i to nie zawsze. Silna aktywacja skał zniekształca znacznie wyniki.

Do SO stosuje się wyłącznie sondy gradientowe, o rozstawach od 0,45 m (niekiedy od 0,35 m rzadziej od 0,25 m) do 8,5 m. Dłuższych sond się już nie stosuje.

SO jest powoli wypierane przez profilowanie indukcyjne (PI), którego zasięg jest znaczny, dostarcza ono złożonych informacji, przy jednoczesnym znacznym skróceniu czasu trwania samego pomiaru.

Jak już wspomniano, podstawowym poszukiwanym parametrem badanych horyzontów jest oporność właściwa. Dla uzyskania informacji o jej wielkości stosuje się w ZSRR różne kompleksy i zestawienia sond, zależnie od warunków pomiarowych. Przy ocenie efektywności określenia oporności właściwej różnymi kompleksami sond, prócz wpływu filtracji i ograniczonej miąższości warstw, wzięto pod uwagę i takie czynniki, jak: zasięg sondy, zakres pomiarowy sond, wpływ niejednorodności profilu, dokładność pomiaru oporności pozornej itd. Uwzględniając te wszystkie czynniki, poleca się następujące zestawy sond elektrometrii:

1. Kompleksy na osnowie SO (BSE):
 - a) — sondy małego zasięgu — AO = 0,45 m,
AO = 1,05 m,
mPOst np. sonda KMBK;
 - sondy średniego i dużego zasięgu
— AO = 2,25 m,
AO = 4,25 m,
AO = 8,5 m.

Kompleks ten ma obecnie szerokie zastosowanie dla badań w przekroju piaszczysto-ilastym bądź jednorodnym węglanowym, przy słabo zmineralizowa-

nej płuczce ($Rp_i > 0,2$ omm), gdy maksymalny zasięg strefy filtracji nie przekracza $D/d = 16$. Stosuje się go w otworach konturujących i strukturalno-poszukiwawczych, w interwałach perspektywicznych z punktu widzenia ropo i gazonośności. Możliwość tego kompleksu maleje przy większych wartościach stosunku oporności badanych skał i płuczki — ($R/Rp_i > 100 - 200$), co spotyka się przy zasolonych płuczkiach.

Kompleks ten jest również mało efektywny w przypadku częstych zmian oporności warstw o małych miąższościach. Mała dokładność rejestracji oporności pozornych długimi sondami SO (AO = 4,25 i 8,5 m) przy ich niskich wartościach (0,5 — 2 omm) ogranicza możliwości badań w ośrodkach bardzo niskooporowych ($R < 2$ omm).

b) sondy małego zasięgu jak wyżej.
— sondy średniego i dużego zasięgu jak wyżej z dodatkowym PI.

Kompleks ten jest bardziej efektywny od poprzedniego dla przekrojów płaszczysto-łlających, niejednorodnych, niskooporowych. Najszersze zastosowanie spotyka się w otworach konturujących i strukturalno-poszukiwawczych przy słodkiej płuczce. Maksymalny zasięg strefy filtracji $D/d = 16$. Minimalne miąższości warstw: — niskooporowych — 1,5 m (dla aparatury IK-2); 1 m (dla aparatury PIK-1) — wysokooporowych — 6 m (IK-2) i 5 m (PIK-1).

Wprowadzenie profilowania indukcyjnego pozwala znacznie podwyższyć dokładność określenia oporności właściwej warstw niskooporowych z filtracją podwyższającą. Wpływ niejednorodności przekroju na wskazania sondy indukcyjnej jest znacznie mniejszy, niż na sondy SO. PI nie daje dodatkowych informacji przy dużych opornościach warstw ($R > 50 - 100$ omm) i dużych stosunkach oporności właściwej warstw do oporności płuczki ($R/Rp_i > 150 - 200$).

c) sondy małego zasięgu jak wyżej.
— sondy średniego i dużego zasięgu, jak w „a” z dodatkowym POst sondą AIBK-3.

Jest to kompleks bardzo efektywny przy badaniu warstw wysokooporowych, a szczególnie w przypadku kompleksów złożonych z licznych przewarstwień. Dobre wyniki uzyskuje się w płuczkiach zasolonych przy dużych wartościach R/Rp_i . Interpretacja ilościowa danych POst sondą AIBK-3 jest możliwa dla warstw o miąższości od 2—3 m. Stosuje się ją w otworach poszukiwawczych i konturujących, w profilach zarówno płaszczysto-łlających, jak i węglanowych. Ograniczenie tego kompleksu stanowią oporności skał niższe od 2 omm.

2. Kompleksy na osnowie profilowania indukcyjnego PI i sterowanego profilowania oporności POst.

a) — sondy małego zasięgu — AO = 0,45 m, AO = 1,05 m, mPOst sondą KIMBK;

— sondy średniego i dużego zasięgu — AO = 2,25 m, POst sondą ABK-3, PI sondą 5F 1,2.

Jest to bardzo efektywny kompleks dla profili opornościowo bardzo niejednorodnych, profili węglanowych. Ograniczenie stosowania, to zasięg strefy filtracji, który nie powinien przekraczać $D/d = 10$. Ilościowa interpretacja danych PI jest możliwa dla warstw niskooporowych o miąższości od 1,5 m, wysokooporowych od 6 m, a danych POst — dla warstw niskooporowych 1 m i wysokooporowych — 3 m.

b) — sondy małego zasięgu jak wyżej.
— sondy średniego i dużego zasięgu — 5F1,2, 4F 0,75, POst sondami BK-7 o parametrach: $L/q = 1,2/1$, $L/q = 2/1,5$.

Kompleks bardzo dobrze spełnia swe zadanie przy podwyższającej i obniżającej filtracji o zasięgu maksymalnym $D/d = 10$. Ilościowa interpretacja danych jest możliwa dla niskooporowych warstw o miąższości od 1,5 m i wysokooporowych od 3—4 m.

3. Kompleks na osnowie POst:

— sondy małego zasięgu — mPOst sondą KIMBK, POst sondą BK-7I, $L/q = 0,6/1$;

— sondy średniego i dużego zasięgu —

POst (BK-7), $L/q = 1,2/1$, $L/q = 2/1,5$, $L/q = 3/4$.

Stosuje się go w przypadkach silnie zasolonej płuczki o mineralizacji przekraczającej mineralizację wód złożowych. Dobre wyniki uzyskuje się dla stref filtracji o zasięgu do $D/d = 16$. Interpretację ilościową można przeprowadzać dla warstw o miąższościach powyżej 3 m (niskooporowe) i powyżej 5,5 m (wysokooporowe). Używa się tego kompleksu przy znacznych niejednorodnościach oporowych profilu i wysokich opornościach skał.

W wierceniach eksploatacyjnych stosuje się mało efektywne, skrócone kompleksy, możliwe do wykorzystania w bardzo dobrze znanym rejonie i znanym profilu, a przy niewielkich zasięgach stref filtracji ($D/d = 6 - 8 - 10$).

W słodkich płuczkiach stosuje się:

a) mały zasięg — mPOst sondą KIMBK, — średni i duży zasięg — PI; POst sondą AIBK-3.
b) — mały zasięg j. w. — PI; — średni i duży zasięg — PO sondami AO = 1,05 AO = 2,25 m.

W obu kompleksach podstawową rolę odgrywa profilowanie indukcyjne. Ocena, oszacowanie parametrów jest możliwe przy miąższościach powyżej 2 m dla warstw niskooporowych. Kompleksy są bardzo mało efektywne w przekrojach wysokooporowych, a zwłaszcza przy filtracji obniżającej. W płuczkiach zasolonych można stosować:

a) mały zasięg — mPOst (KIMBK),

POst (BK-7 o $L/q = 0,6/1$),

— duży i średni zasięg — POst — BK-7 o $L/q = 1,2/1$ i $2/1,5$.

b) mały zasięg — mPOst sondą KIMBK, — średni i duży zasięg — PO sondami o AO = 1,05 m i 2,25 m POst sondą AIBK-3.

Oba kompleksy niekiedy mogą dać materiał nawet i do pewnych oszacowań ilościowych w znanym przekroju i przy niewielkiej filtracji.

Chcąc jednak uzyskać najlepsze wyniki z elektrometrii, tj. najwięcej danych, należy stosować pełne kompleksy sond:

a) SOg (BSE) z uzupełniającym PI bądź POst,
b) kombinacje POst i PI,
c) w słonych płuczkiach — kompleks sond POst.

Podane wyżej pełne kompleksy metod i sond elektrometrii, w powiązaniu z profilowaniami — neutron-gamma (PNG), akustycznym (PA) i in. służą również do określenia parametrów kolektorskich wytypowanych horyzontów.

Konfrontacja metodyki badań stosowanej w geofizyce wiertniczej w Polsce i ZSRR wskazuje na celowość analizy stosowanego w Polsce kompleksu metod karotażowych dla celów naftowych. Włączenie do badań sterowanego mikroprofilowania oporności (mPOst) czy to przez zakup sond KIMBK, czy też przez używanie własnych rodzimych konstrukcji, rozszerzenie zasięgu badań metodą indukcyjną (PI) i sterowanego profilowania oporności (POst) zwiększyłoby znacznie

efektywność prac karotażowych. Nie widać natomiast powodów do redukcji stosowanego w Polsce gradientowego sondowania oporności (SOg, czyli BSE).

Charakterystyczne jest również wykorzystywanie dla wierceń oporowych w ZSRR wszystkich dostępnych metod geofizyki wiertniczej.

S U M M A R Y

The present author, who has visited the Soviet Union, has got acquainted, among others, with the complex methods of drilling geophysics applied there in search for oil. These methods are differentiated according to both type and character of various drillings, i.e. basis, structural-prospecting, extension and exploitation drillings. The researches are subdivided into two stages — fundamental and complementary researches. The best results are obtained by applying the following methods: complex electrometry methods checked as concerns their efficiency (resistivity sounding/lateral sounding), with induction logging or controlled resistivity logging; combination of controlled resistivity logging and induction logging; and complex of controlled resistivity logging used in the case of salty drilling muds. These methods, combined with acoustic, radioactive and other ones, may be applied for the whole quantitative interpretation, as well.

Warta podkreślenia jest także kwestia skali pionowej profilowań. W ZSRR jedynie tzw. metody standardowe są wykonywane w skali 1:500, natomiast pozostałe badania wykonuje się w skali 1:200, co umożliwia zdecydowanie lepszą i dokładniejszą interpretację danych.

Р Е З Ю М Е

Автор имел возможность ознакомиться в СССР с комплексом методов промышленной геофизики, применяемых в нефтепоисковых работах. Они различаются по типу и назначению скважин: опорных, поисковых, разведочных и эксплуатационных. Исследования проводятся в два этапа — основные и дополнительные исследования. Наибольшая эффективность достигается путем применения комплексов электрических методов, контролируемых боковым каротажным зондированием с дополнительным индукционным каротажем или боковым каротажем, или же сочетанием индукционного и бокового каротажа, а в соляных буровых растворах комплекс бокового каротажного зондирования. Эти методы в увязке с акустическими, радиоактивными и другими методами могут обеспечить полную количественную интерпретацию.