

© В.Й. Прокопів

канд. геол. наук
ПАТ «Укрнафта»

С.Ф. Кучер

ПАТ «Карпатське управління геофізичних робіт»

М.Ю. Нестеренко

д-р геол. наук
Львівський комплексний
науково-дослідний центр УкрНДІгазу

Ю.І. Федоришин

д-р геол. наук
НУ Водного господарства та
природокористування

Р.С. Балацький

Львівський комплексний науково-
дослідний центр УкрНДІгазу

Петрофізичні властивості карбонатних порід башкирського ярусу Великобубнівського нафтогазоконденсатного родовища

УДК 552. 578

За результатами проведеного комплексу петрофізичних досліджень зразків ядра, відібраних із горизонту Б-10, для порід-колекторів виділено три характерних діапазони значень водонасичення – з областю однофазної фільтрації нафти, двофазної фільтрації флюїдів (нафти і води) і однофазної фільтрації води, які можуть слугувати петрофізичною основою для прогнозування можливих припливів флюїдів у новопробурених свердловинах після проведення комплексу ГДС.

Ключові слова: ядро, порода-колектор, проникність, пористість, залишкове водонасичення, фазова проникність.

По результатам проведенного комплекса петрофизических исследований образцов ядра, отобранных из горизонта Б-10, для пород-коллекторов выделены три характерных диапазона значений водонасыщения – с областью однофазной фильтрации нефти, двухфазной фильтрации флюидов (нефти и воды) и однофазной фильтрации воды, которые могут служить петрофизической основой для прогнозирования возможных притоков флюидов в новых пробуренных скважинах после проведения комплекса ГИС.

Ключевые слова: ядро, порода-коллектор, проницаемость, пористость, остаточное водонасыщение, фазовая проницаемость.

Based on the results of complex petrophysical studies of core samples taken from B-10 horizon, the collector rocks are divided into three typical range of water saturation – areas with single-phase oil filtration, two-phase oil filtration (oil and water) and single-phase water filtration, which can serve as petrophysical basis for forecasting possible inflows of fluids in the newly drilled wells after completion of geophysical well survey complex.

Key words: core, collector rock, permeability, porosity, residual water saturation, phase permeability.

Петрофізичні дослідження зазвичай виконують згідно з існуючими нормативними документами та рекомендаціями, описаними в працях [1–9]. При цьому на циліндричних зразках стандартних розмірів (завдовжки 3 см і діаметром 3 см) створювалися умови, що моделюють пластові. Величина ефективного тиску залежить від глибини залягання порід, у нашому випадку вона становила 35 МПа.

Фільтраційно-ємнісні властивості

Об'єктом досліджень були зразки ядра (вапняки, аргіліт-алевролітові породи, доломіти), відібрані з продуктивного горизонту Б-10 однієї зі свердловин Великобубнівського родовища. Переважна більшість досліджених зразків мала проникність ($K_{пр}$) від 0,000003 до 25 мД, відкриту пористість ($K_{п}$) 0,4–19,9 %, вміст залишкової води у них змінювався від 21 до 100 %, а для окремих

зразків – 21–53 %, і вони є колекторами, здатними віддавати нафту.

Для двох типових зразків ядра діаметром 8 см і завдовжки 9 см, відібраних із інтервалу 2789–2796 м, об'єм каверн визначали газоволюметричним методом, він становив відповідно 9,9 і 3,7 %.

Результати капіляриметричних досліджень методом центрифугування стали основою для визначення ефективною пористості, фазової проникності для нафти і води.

Ефективна пористість досліджених порід змінювалася від 0 до 17,5 %.

Електричні властивості порід

Електричні властивості порід вивчали з використанням моделі пластової води загальною мінералізацією 180 г/л хлористого натрію, питомою вагою 1,103 г/см³ і питомим електричним опором 0,058 Ом·м у кернотри-

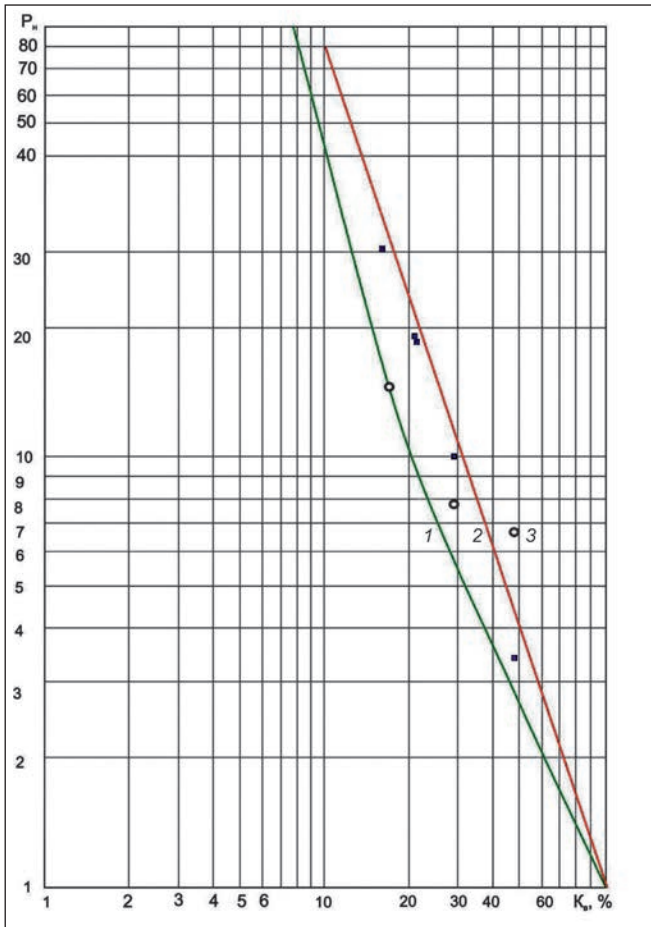


Рис. 1. Співвідношення між параметром насичення і коефіцієнтом водонасичення. Великобубнівське родовище, башкирський ярус: 1 – залежність для карбонатних порід (за Арчі); 2 – стандартна залежність, яку використовували в підрахунках запасів Яблунівського родовища; 3 – розрахункові точки, отримані з урахуванням звивистості порових каналів і водонасичення (В.М. Добринін); точками нанесено експериментально отримані результати

мачі фільтраційної установки, попередньо наситивши їх водою під вакуумом.

Параметр насичення P_n при різному водонасиченні зразка K_w змінювався від 1,01 (при $K_w=99\%$) до 30,2 (при $K_w=17,5\%$) (рис. 1), а параметр пористості – від 25 до 4100 за K_w 19,9 і 0,4 % відповідно (рис. 2). Моделювання залишкового водонасичення для типових восьми зразків здійснювали згідно з нормативним документом [4], для решти зразків – за інструкцією [7].

Акустичні властивості порід

Швидкість розповсюдження поздовжніх акустичних хвиль (V) вимірювали через зразки, насичені моделлю пластової води зазначеної вище мінералізації, в поверхневих умовах. Інтервальний час ΔT розраховували зі співвідношення $\Delta T=10^6/V$, мкс/м. Варто зазначити, що отримані дані є попередніми і потребують більш детальних досліджень із використанням представницької колекції керна матеріалу. Досліджена вибірка мала лише шість зразків, які належать до класу колекторів, решта зразків –

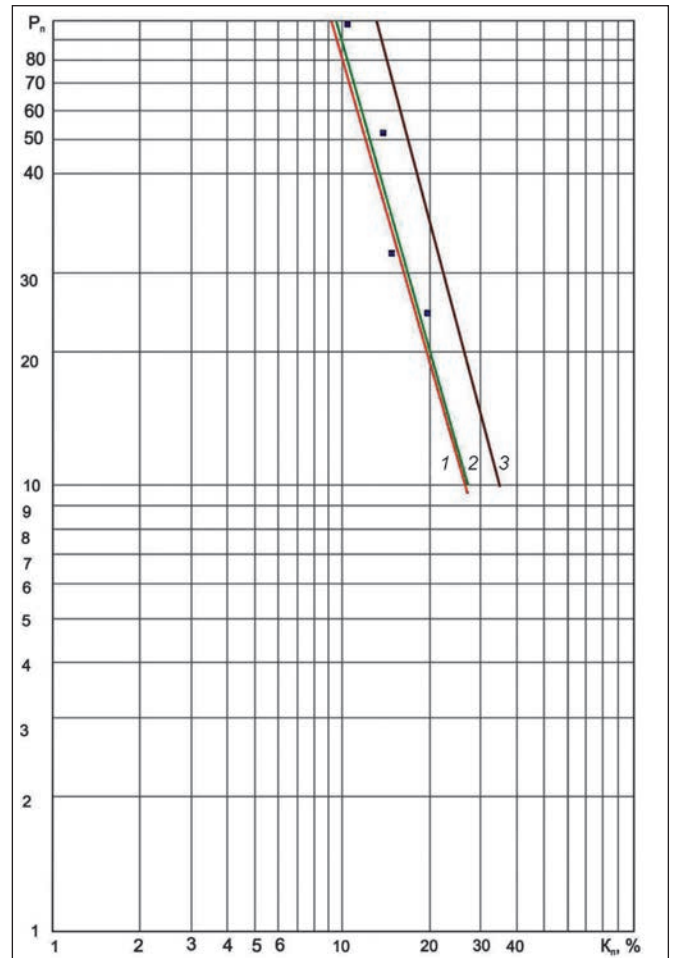


Рис. 2. Співвідношення між параметром пористості і коефіцієнтом пористості. Великобубнівське родовище, башкирський ярус: 1 – стандартна залежність, яку використовували в підрахунках запасів Яблунівського родовища; 2 – залежність для вапняків і доломітів середньої щільності (С.Д. Пірсон); 3 – залежність для щільних карбонатних порід (С.Д. Пірсон);

неколектори. Інтервальний час для окремих зразків різко відхилився від загально виявленої закономірності (163–240 мкс/м) і становив 625–630 мкс/м, що пояснюється явно вираженою кавернозністю і тріщинуватістю порід.

Залишкове водонасичення і порометрична характеристика

На рис. 3 представлено типові залежності зміни водонасичення від тиску витіснення і розподіл порових каналів на надкапілярні (38 %), капілярні (33 %) і субкапілярні (29 %). Останні заповнені, як правило, залишковою водою і участі у формуванні нафтонасичення не беруть.

Прослідковується загальна тенденція зміни залишкового водонасичення від газопроникності (рис. 4).

Фазова проникність

Звичай під час розгляду процесів фільтрації незмішуваних рідин у поровому середовищі замість фазових проникностей вводять відносні фазові проникності кожної із фаз відносно абсолютної. За абсолютну прийма-

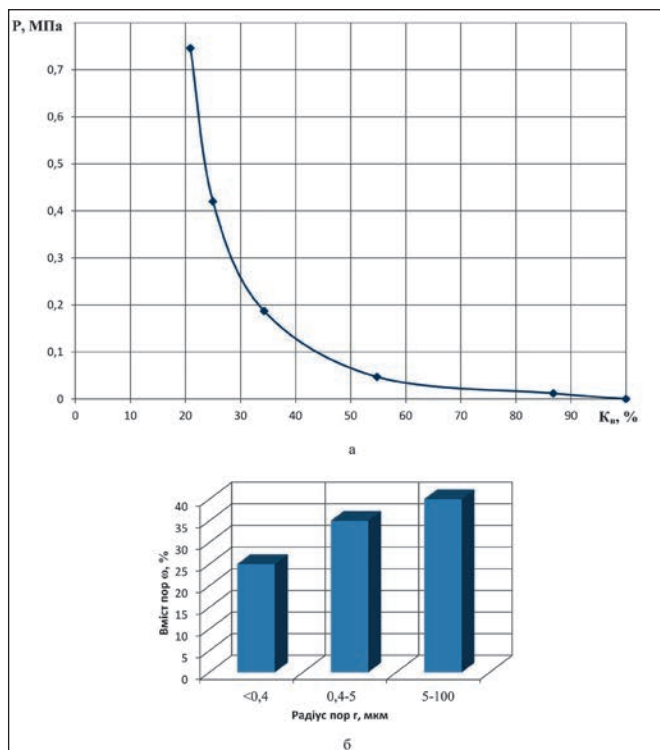


Рис. 3. Залежність залишкового водонасичення від тиску витіснення (а) і порометрична характеристика (б)

ють проникність порового середовища за газом або нафтою при залишковому водонасиченні порід-колекторів. У цьому випадку нормування відносних фазових проникностей (ВФП) для обох фаз здійснено за абсолютною газопроникністю.

Типові залежності відносних фазових проникностей для нафти і води від водонасичення порід-колекторів Великобубнівського родовища, встановлені за зазначеною методикою, зображено на рис. 5.

Аналіз отриманих усереднених фазових проникностей свідчить про те, що ВФП для нафти і води однакові за водонасичення близько 48 % (точка перетину кривих), а за його значення, близького до 55 %, фільтрація нафти практично припиняється. Фазова проникність для води близька до нуля за умов водонасичення порід-колекторів у 30 %. Спільний розгляд кривих ВФП для води і нафти (див. рис. 5) і петрофізичної залежності $P_{\text{н}} = f(K_{\text{в}})$ (див. рис. 1) дає змогу встановити критичні значення фізичних параметрів досліджених порід-колекторів абсолютною із залученням даних ГДС. За кривими ВФП для порід-колекторів абсолютною газопроникністю 1,5–17,2 мД виділено три характерні діапазони значень $K_{\text{в}}$:

- область однофазної фільтрації нафти (залишкова пластова вода перебуває у фазово-нерухомому стані), $K_{\text{в}} \leq 30\%$, $P_{\text{н}} \geq 10$;
- область двофазної фільтрації (вода+нафта), $30 \leq K_{\text{в}} \leq 55\%$, $10 \leq P_{\text{н}} \leq 3,5$;
- область однофазної фільтрації води (нафта перебуває у фазово-нерухомому стані), $55 \leq K_{\text{в}} \leq 100\%$, $3,5 \leq P_{\text{н}} \leq 1,0$.

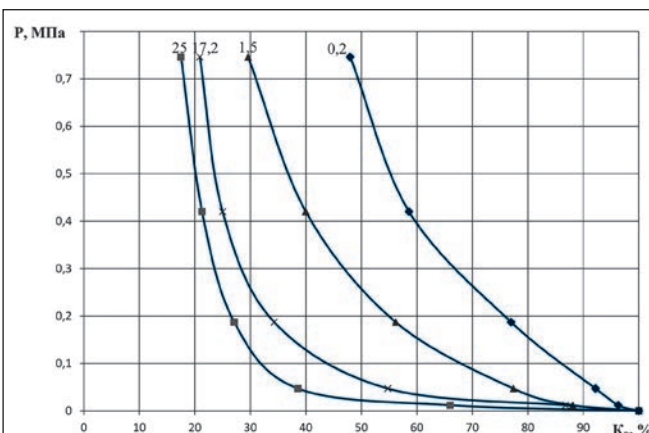


Рис. 4. Порівняльна залежність залишкового водонасичення порід із різними фільтраційними властивостями (шифр кривих – газопроникність у мД)

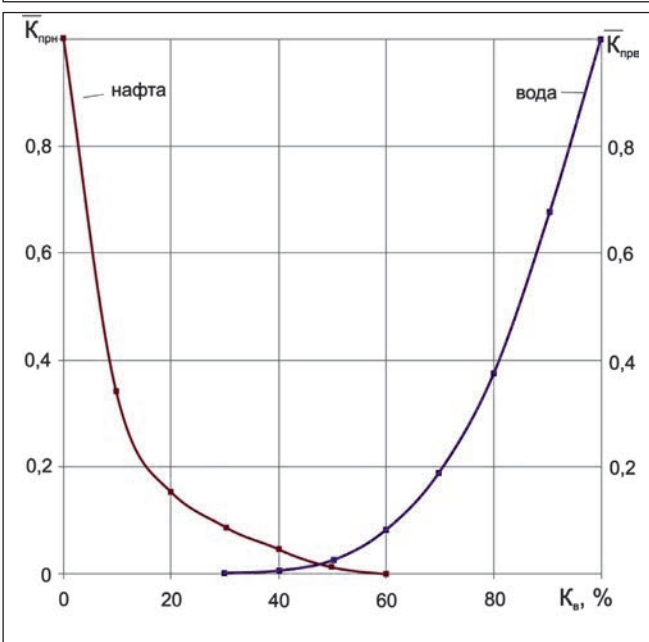


Рис. 5. Залежність відносних фазових проникностей для нафти і води від водонасичення (зразок із $K_{\text{гп}}=17,2$ мД, $K_{\text{н}}=18,8\%$, $K_{\text{в}}=75\%$)

Зміна тріщинної проникності порід від ефективного навантаження

Залежність тріщинної проникності від ефективного тиску має сигмоїдальну форму, на ній чітко виділяються три характерні ділянки: початкова – до 100 кгс/см², де проникність практично не змінюється; перехідна – від 100 до 250 кгс/см² (проникність залежно від ефективного тиску знижується в 1,1–3 рази від початкової); кінцева – від 250 до 300 кгс/см², відбувається стабілізація проникності. На цій ділянці зазначений параметр змінюється в 3–4 рази порівняно з початковим його значенням. При цьому зі збільшенням ефективного навантаження від 300 кгс/см² і вище відбувається максимальне змикання

тріщин. Отримані результати експериментів можуть слугувати основою для обґрунтування максимально допустимих депресій (до 100 кгс/см²) під час освоєння тріщинувато-кавернозних колекторів, щоб не допустити змикання тріщин, часткового або повного припинення фільтрації вуглеводнів.

Висновки

Отже, за кривими ВФП для порід-колекторів абсолютною газопроникистю 1,5–17,2 мД виділено три характерні діапазони значень K з області однофазної фільтрації нафти, двофазної фільтрації

флюїдів (нафти і води) і однофазної фільтрації води, які можуть слугувати петрофізичною основою для прогнозування можливих припливів флюїдів у новопробурених свердловинах після проведення комплексу ГДС.

Зазначимо, що в інтервалах відбору ядра 2770–2776, 2776–2781, 2783–2786 м, із яких отримано припливи нафти і газу, винос ядра становив відповідно 50, 20 і 33 %. Через це пряму літолого-петрофізичну інформацію про горизонт Б-10 втрачено. Тому в подібних випадках доцільно в процесі буріння паралельно відбирати проби шламу, а потім їх досліджувати.

Список використаних джерел

1. ГОСТ 26450.0-85 Породы горные. Общие требования к отбору и подготовке проб для определения коллекторских свойств. – М.: Изд-во стандартов, 1985. – 12 с.
2. ГОСТ 26450.1-85 Породы горные. Метод определения коэффициента открытой пористости жидкостенасыщением. – М.: Изд-во стандартов, 1985. – 8 с.
3. ГОСТ 26450.2-85 Породы горные. Метод определения коэффициента абсолютной газопроницаемости при стационарной и нестационарной фильтрации. – М.: Изд-во стандартов, 1985. – 16 с.
4. ГСТУ 41-00032626-00-025-2000 Коефіцієнт залишкового водонасичення гірських порід. Методика виконання вимірювань методом центрифугування зразків. – К.: Мінеко-ресурсів України, 2001. – 19 с.
5. СОУ 73.1-41-08.11.09:2007 Визначення параметрів

порового простору порід-колекторів. Методичні вказівки. – К.: Держгеолслужба, 2007. – 13 с.

6. Методические рекомендации по исследованию пород-коллекторов нефти и газа физическими и петрографическими методами. – М.: ВНИГНИ, 1978. – 395 с.

7. Інструкція по определению водонасыщенности, проницаемости, гранулометрического состава и карбонатности пород-коллекторов в производственных лабораториях Министерства геологии СССР. – Львов: Укр НИГРИ, 1977. – 44 с.

8. Вивчення фізичних властивостей гранулярних порід-колекторів до підрахунку запасів нафти і газу об'ємним методом. – К.: Львів: ДКЗ України, ЛВ УкрДРГІ, 2010. – 42 с.

9. Нестеренко М.Ю. Петрофізичні основи обґрунтування флюїдонасичення порід-колекторів / М.Ю. Нестеренко. – К.: УкрДРГІ, 2010. – 224 с.

НОВИНИ

Нові штангові свердловинні насоси

На свердловинах НГВУ «Охтирканафтогаз» ПАТ «Укрнафта» почали використовувати штангові свердловинні насоси (ШСН) у протипісочному виконанні. Основною їх відмінністю від звичайних ШСН є використання укороченого плунжера, який складається із ексцентрично розташованих у змінному напрямку ущільнювальних компресійних кілець і стелітових опор, що встановлені на різних кінцях плунжера. За рахунок використання компресійних кілець у цих насосах контактна зона дотику плунжера до циліндра у 20–30 разів менша порівняно з традиційними ШСН, завдяки чому суттєво знижується спрацювання циліндра, зменшуються навантаження на плунжер і спрацювання його компресійних кілець. Використання таких ШСН допомогло б збільшити міжремонтний період роботи насосів у 2,5–2,7 раза.

Випробування занурених насосів на великих глибинах

У ПАТ «Укрнафта» розпочато дослідно-промислові випробування установок занурених електровідцентрових насосів (ЕВН) із аномальною глибиною спуску. Зокрема, експлуатацію свердловин Перекопівського родовища здійснювали з глибиною спуску насоса 4000 м (верхні отвори інтервалу перфорації – 4384 м). Незначний вибійний тиск і висока пластова температура потребували застосування спеціального обладнання: електровідцентрового насоса із напором 3000 м, зануреного електродвигуна із гідрозахистом, розрахованим на високі тиски до 40 МПа і температуру внутрішньосвердловинного середовища до 170 °С (у звичайному виконанні: тиск – до 25 МПа, температура – до 135 °С), спеціального високотемпературного подовжувача кабельної лінії завдовжки 2000 м, розрахованого на температуру 250 °С. Під час роботи цього обладнання середньодобовий дебіт свердловин становив 32–35 т/добу рідини.