

ВСТАНОВЛЕННЯ ЕМПІРИЧНИХ ЗАЛЕЖНОСТЕЙ МІЖ ФІЗИЧНИМИ І КОЛЕКТОРСЬКИМИ ВЛАСТИВОСТЯМИ ГІРСЬКОЇ ПОРОДИ

П.І.Хекало, Д.В.Малицький

Карпатське відділення ІГФ НАН України, 79053, м. Львів, вул. Наукова 3-б,
тел./факс:(0322) 651988, e-mail: nazarevych_a@cb-igph.lviv.ua

Предложен механизм определения эмпирических зависимостей между физическими и коллекторскими свойствами породы. По экспериментальным данным для Внешней зоны Передкарпатского прогиба методом наименьших квадратов получены эмпирические формулы, функционально связывающие эффективное давление, открытую пористость и обратную величину модуля объемного сжатия как для сухой, так и для насыщенной жидкостью породы.

It was proposed a mechanism of a determination of a relations between physical and collector properties of porous rocks. Empiric relations between effective pressure open porosity and bulk modulus in both dry and fluid-filled rocks have been obtained by applying least squares technique to experimental data from the Outward zone of the Forecarpathion trough.

Вивчення фізичних властивостей зразків гірських порід є необхідним етапом при пошуку і розвідці покладів нафти і газу. Застосування традиційних структурних методів геофізичних досліджень, структурного і глибокого буріння не забезпечують необхідної ефективності робіт для пошуку та розвідки нафти і газу. Потрібні дані не тільки про будову, а й про фізичні властивості досліджуваного геологічного району. Крім цього, такі роботи потребують значних фінансових затрат. На даний час є чимало наукових праць як вітчизняних, так і зарубіжних вчених, які вказують на тісні зв'язки між фізичними і колекторськими властивостями гірських порід [1-4]. Встановлення таких зв'язків є можливим за наявності експериментальних досліджень в лабораторних умовах зразків гірських порід різного віку і складу з глибоких свердловин.

Постановка завдання

За експериментальними даними досліджень зразків гірських порід для заданого геологічного району (в цій статті для Зовнішньої зони Передкарпатського прогину [5], табл. 1.) необхідно одержати емпіричну формулу для оберненої величини модуля об'ємного стиску, значення якої незначно відрізнялись би від експериментальних даних.

Під емпіричною формулою розуміємо наближену функціональну залежність, яка одержана на базі експериментальних даних. Оскільки функціональна залежність є невідомою, то і вигляд емпіричної формули може бути довільним. В статті розглядаються найпростіші співвідношення, що забезпечують необхідну точність. Формули вибиралися із геометричної доцільності, тобто експериментальні точки наносилися на графік (рис. 1) і наближено задавався загальний вигляд функціональної залежності шляхом порівняння одержаної кривої з графіками відомих функцій.

Запишемо загальний вигляд функціональної залежності оберненої величини модуля об'ємного стиску β від пористості Φ при заданому тиску P

$$\beta^* = a + b \cdot \Phi, \quad (1)$$

де: $\beta^* = \beta \cdot 10^{11}$ Па;

a і b – невідомі параметри, які є залежними від тиску;

Φ – відкрита пористість породи в %.

Для кожного заданого тиску P параметри a і b , що входять у формулу (1), визначалися методом найменших квадратів [6,7]. Суть цього методу полягає в тому, що ми записуємо суму квадратів відхилень (тобто між експериментальними значеннями і значеннями, представленими формулою (1)), а саме:

$$S = \sum_{i=0}^n \varepsilon_i = \sum_{i=0}^n [a + b \cdot \Phi - \beta^e \cdot 10^{11}]^2. \quad (2)$$

Параметри a і b в емпіричній формулі (1) визначалися із умови мінімуму функції S . Оскільки параметри a і b для заданого тиску P є незалежними змінними функції S , то мінімум її шукаємо, прирівнявши до нуля частинні похідні за цими змінними, тобто:

$$\frac{\partial S}{\partial a} = 0; \quad \frac{\partial S}{\partial b} = 0. \quad (3)$$

Із рівнянь (3) одержуємо систему рівнянь для визначення параметрів a і b при кожному заданому тиску P . Одержані значення параметрів a і b , що представлені таблицею 2, знову наносимо на графік (рис. 2.) і наближено задаємо загальний вигляд цих залежностей, порівнюючи їх з графіками відомих функцій. Запишемо функціональні залежності параметрів a і b від тиску P в такому вигляді:

$$a = A + C \cdot P^*, \quad (4)$$

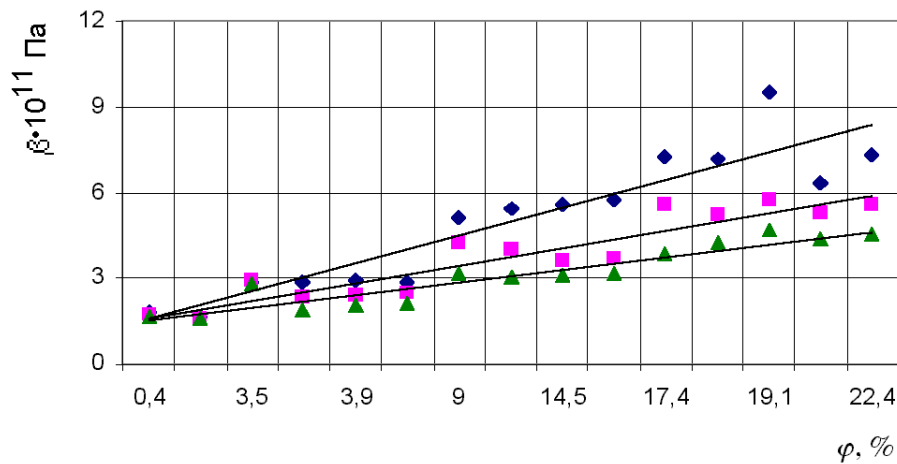
$$b = D \cdot (P^*)^L, \quad (5)$$

де: $P^* = \frac{P}{P_0}$, $P_0 = 1$ МПа;

A, C, D, L – константи, які визначаються методом найменших квадратів і приймають такі значення: $A = 1.893$; $C = -2.72/1000$; $D = 0.27$; $L = -0.186$.

Таблиця 1 — Пружні характеристики порід для Зовнішньої зони Передкарпатського прогину

Обернена величина модуля об'ємного стиску породи, $\beta^e \cdot 10^{11}$ Па		коефіцієнт пористості ϕ , %														
Ефект тиск на породу, МПа		0.40	2.10	3.50	3.60	3.90	5.40	9.00	12.20	14.50	15.40	17.40	18.30	19.10	19.40	22.40
0.1		1.85	1.75	2.95	2.60	2.70	3.25	6.40	5.85	5.60	5.35	9.40	9.35	10.70	8.50	10.00
1.0		1.80	1.70	3.05	2.85	2.85	3.05	5.65	5.30	5.30	5.80	8.05	8.45	10.20	8.40	8.70
2.5		1.80	1.65	3.05	2.90	2.95	2.90	5.15	5.40	5.60	5.75	7.25	7.15	9.50	6.35	7.30
5		1.75	1.60	3.00	2.55	2.50	2.75	4.95	4.75	4.15	4.20	6.30	6.10	7.15	5.75	6.40
10		1.70	1.60	2.95	2.35	2.45	2.50	4.25	4.00	3.60	3.70	5.55	5.20	5.75	5.30	5.60
20		1.70	1.60	2.85	2.05	2.25	2.35	3.85	3.35	3.20	3.35	4.40	4.45	4.95	4.40	4.85
40		1.70	1.60	2.80	1.90	2.05	2.15	3.15	3.00	3.10	3.20	3.85	4.20	4.65	4.35	4.50
80		1.65	1.60	2.75	1.85	2.00	1.95	2.75	2.75	3.05	3.25	3.80	4.15	4.60	4.55	4.25



Ф — при тиску 2.5 МПа; φ — при тиску 10 МПа; σ — при тиску 40 МПа.
Суцільні лінії — загальний вигляд функціональної залежності (1) при тих же тисках

Рисунок 1 — Розподіл експериментальних значень β залежно від пористості φ

Таблиця 2 — Значення параметрів a і b функціональної залежності (1)

Тиск, P МПа	a	b
0.1	1.843	0.398
5.0	2.000	0.224
10.0	1.938	0.187
20.0	1.891	0.143
40.0	1.673	0.129
80.0	1.621	0.120

Підстановкою рівнянь (4) і (5) в рівняння (1) одержуємо емпіричну формулу для оберненої величини модуля об'ємного стиску породи, насиченої рідиною

$$\beta^* = 1.893 - 2.72 \cdot 10^{-3} \cdot P^* + \frac{0.27 \cdot \phi}{(P^*)^{0.186}} \quad (6)$$

Для одержання емпіричної формули, що функціонально пов'язує фізичні і колекторські властивості сухої породи, попередньо були розглянуті породи як двофазні середовища, що включають в себе пружно-однорідну тверду фазу з дископодібними та сфероїдальними включеннями (пустотами) різних розмірів. Роз-

міри включень є набагато менші за довжини пружних хвиль, і тому гірські породи моделюються як квазіоднорідні тіла з ефективними модулями пружності. Рівняння для ефективних модулів пружності сухої та насиченої рідиною породи [3] запишуться в такому вигляді:

$$\frac{1}{K^c} = \frac{1}{K_1} + \frac{4(1-\nu_1^2)}{3\pi(1-2\nu_1)K_1} \int_0^\alpha \frac{\phi_T}{\alpha} d\alpha + \frac{3(1-\nu_1)\phi}{2(1-2\nu_1)K_1(1-\phi)} \quad (7)$$

$$\frac{1}{M^c} = \frac{1}{M_1} + \frac{8(5-\nu_1)(1-\nu_1)}{15\pi(2-\nu_1)M_1} \int_0^\alpha \frac{\phi_T}{\alpha} d\alpha + \frac{15(1-\nu_1)\phi}{(7-5\nu_1)M_1(1-\phi)} \quad (8)$$

де: $K^c, M^c, K^e, M^e, K_1, M_1$ – модулі об'ємного стиску і зсуву сухої, насиченої рідиною і твердої фази породи;
 φ_T, φ – тріщинна і відкрита (сфероїдальної форми) пористість породи;
 α – параметр форм тріщин;

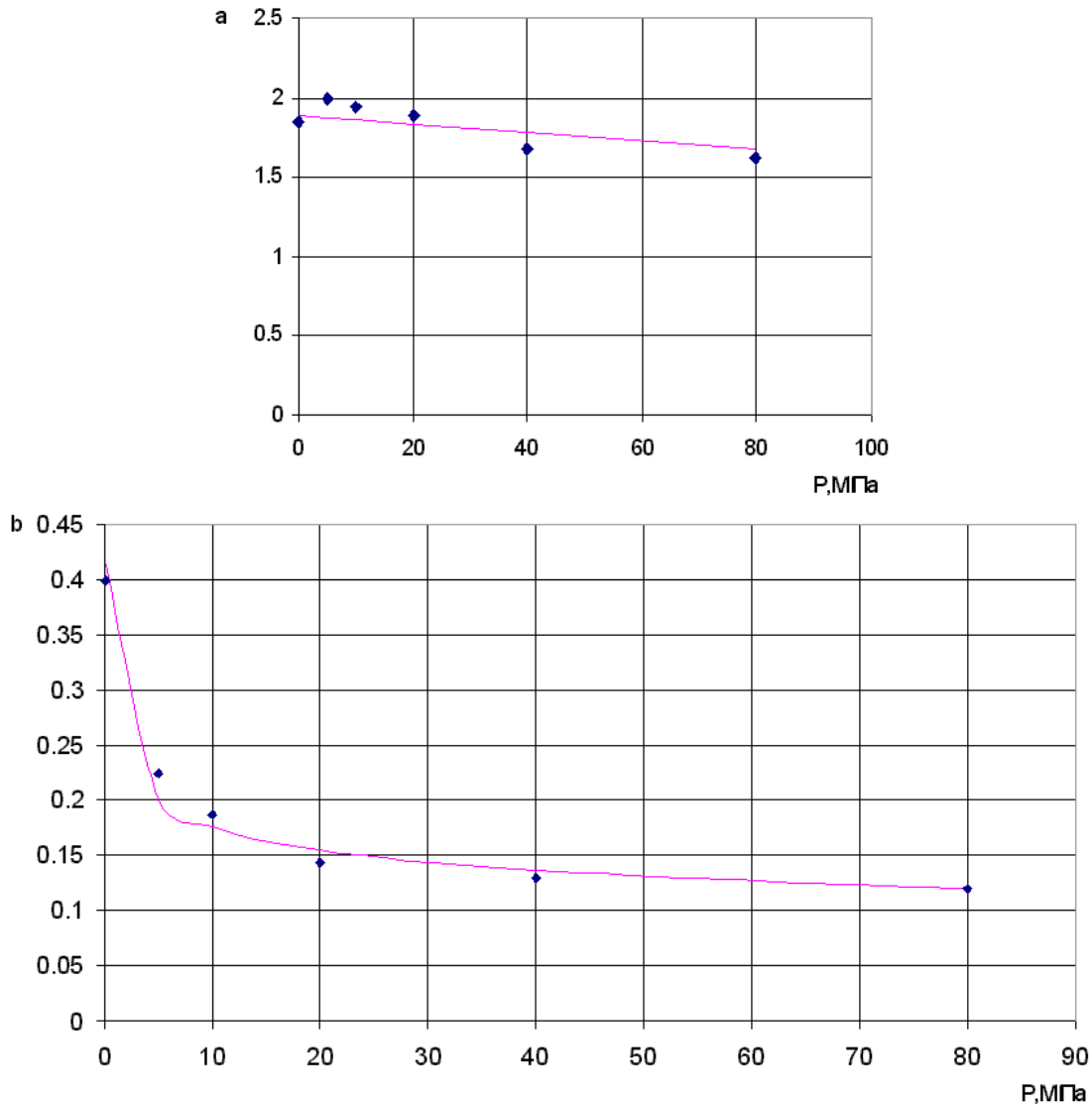


Рисунок 2 — Розподіл значень параметрів a і b залежно від тиску. Суцільні лінії – загальний вигляд функціональних залежностей (4) і (5)

$$\frac{1}{K^e} = \frac{1}{K_1} + \frac{4(1-\nu_1^2)}{3\pi(1-2\nu_1)K_1} \int_0^\alpha \frac{\varphi_T}{\alpha + \chi} d\alpha + \frac{3(1-\nu_1)\varphi}{2(1-2\nu_1)K_1 \left[1 - \left(1 - \frac{K_2}{K_1} \right) \varphi \right]}; \quad (9)$$

$$\frac{1}{M^e} = \left(\frac{1}{3} \int_0^\alpha \frac{\varphi_T}{\alpha + \chi} d\alpha + \frac{1}{(2-\nu_1)} \int_0^\alpha \frac{\varphi_T}{\alpha} d\alpha \right) \frac{8(1-\nu_1)}{5\pi M_1} + \frac{1}{M_1} + \frac{15(1-\nu_1)\varphi}{(7-5\nu_1)M_1(1-\varphi)}, \quad (10)$$

ν_1 – коефіцієнт Пуассона твердої фази породи;

K_2 – модуль об'ємного стиску рідини;

$$\chi = \frac{4(1-\nu_1^2)K_2}{3(1-2\nu_1)K_1}.$$

Відомо, що ефективні модулі пружності гірських порід є залежними від тиску. Враховуючи малість об'ємних деформацій твердої фази породи і виключивши з рівнянь (7-10) тріщинну і відкриту пористість, можна легко показати, як одержуються рекурентні співвідношення для визначення пружних параметрів

сухої породи через пружні параметри породи, насиченої рідиною

$$\frac{1}{M_{i+1}^c} = \frac{1}{M_i^c} + \frac{5 - \nu_1}{3} \times \left(\frac{1}{M_i^e} - \frac{1}{M_{i+1}^e} - \frac{4}{15} \left[\frac{1}{K_i^e} - \frac{1}{K_{i+1}^e} \right] \right), \quad (11)$$

$$i = 1, 2, \dots, n;$$

$$\frac{1}{K_{i-1}^c} = \frac{1}{K_i^c} + \frac{15(2 - \nu_1)}{4(5 - \nu_1)} \left(\frac{1}{M_{i-1}^c} - \frac{1}{M_i^c} \right), \quad (12)$$

$$i = n, n - 1, \dots, 1.$$

На базі перерахованих даних авторами статті була встановлена функціональна залежність між фізичними і колекторськими властивостями сухої породи

$$\beta^* = 2.014 - 4.12 \cdot 10^{-3} \cdot P^* + \frac{0.939 \cdot \varphi}{(P^*)^{0.364}}. \quad (13)$$

Відомо, що колектори для різних геологічних районів істотно відрізняються між собою за фізичними властивостями, тому константи, що входять в емпіричні формули (6) і (13), повинні визначатися і уточнюватися для кожного окремо взятого досліджуваного геологічного району.

Висновки

За експериментальними даними для Зовнішньої зони Передкарпатського прогину встановлені функціональні залежності між фізичними і колекторськими властивостями як сухої, так і насиченої рідиною породи.

Проводилося порівняння одержаних значень за емпіричними формулами (6) і (13) з експериментальними даними. При малих ефективних тисках від 0.1 до 5 МПа відхилення від експериментальних даних не перевищувало 20%, а при тисках від 20 до 80 МПа такі відхилення не перевищували 11%, тобто із зростанням ефективного тиску на породу похибки зменшуються. При реальному заляганні порід, де ефективні тиски є високими, точність одержаних емпіричних формул є достатньою для їх практичного застосування для заданого геологічного району.

Дані сейсмозвідки і одержані емпіричні

УДК 551.735.02(417.5)

ДО ПИТАННЯ ПІД'ЯРУСНОЇ МЕЖІ ВІЗЕ В ДНІПРОВСЬКО-ДОНЕЦЬКІЙ ЗАПАДИНІ

Л.П.Кононенко, С.В.Онуфришин, І.М.Бабко

Чернігівське відділення УкрДГРІ, 14000, Чернігів, вул. Щорса, 8
e-mail: ukrnigri@mail.cn.ua, chgeol@gls.cn.ua

Основным вопросом стратиграфии на протяжении многих лет является обоснование подъярусных границ визейского яруса Днепровско-Донецкой впадины, трассировка их по территории и применение в практике при поисках залежей неантиклинального типа.

С момента изучения визейских отложений существовали разные мнения, авторы в работе обобщили обширный материал и представили свои выводы по дискуссионному вопросу

формули (6) і (13) дають підстави дати об'єкти-

Візейський ярус в Дніпровсько-Донецькій западині (ДДЗ) – один з найважливіших нафтогазопозукових та видобувних об'єктів. Протягом багатьох років він всебічно вивчається. Але ще є питання, вирішення яких певною мірою буде сприяти ефективності пошуків візейських відкладів. Одне з них – це під'ярусне розчленування його, обґрунтування цих меж та їх трасування в ДДЗ.

вну геологічну інтерпретацію для виділення продуктивних пластів досліджуваного геологічного розрізу.

Література

1. Хашин З. Упругие модули неоднородных материалов // Прикл. механика. Сер. Е. – 1962. – 29. – № 1. – С. 159-167.
2. Петкевич Г.И., Вербицкий Т.З. Исследование упругих свойств пористых геологических сред, содержащих жидкости. – К.: Наукова думка, 1975. – 76 с.
3. Вербицкий Т.З., Починайко Р.С., Стародуб Ю.П., Федоришин А.С. Математическое моделирование в сейсмозведке. – К.: Наукова думка, 1985. – 275 с.
4. Walsh J.B. The effect of crack on the compressibility of rock. J. Geoph. Res., 70, 2, 1965.
5. Вербицкий Т.З., Петкевич Г.И. Деформационные и акустические характеристики пористых и трещиноватых сред при всестороннем давлении / В кн.: Физические свойства горных пород при высоких термодинамических параметрах (Мат-лы 3 Всес. Совещания). – К.: Наукова думка, 1971.
6. Турчак Л.И. Основы численных методов. – М.: Наука, 1987. – 320 с.
7. Корн Г., Корн Т. Справочник по математике для научных работников и инженеров. – М.: Наука, 1970. – 720 с.

Ця стаття якраз і присвячується границі між нижнім і верхнім під'ярусами, її трасуванню та практичному використанню при пошу-

The principal stratigraphy's problem for many years is a ground of vizean stage of Dnieper-Donets depression, tracing them at territory and application in practice when non-anticlinal type pools prospecting.

The different opinions were existed from moment of vizean deposits study's. Authors are generalized the wide material and offered their inferences for discussion question in article.