

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 4

ВИЗНАЧЕННЯ КОЕФІЦІЄНТА АБСОЛЮТНОЇ ПРОНИКНОСТІ ГІРСЬКИХ ПОРІД (КЕРНІВ)

4.1 Мета роботи: засвоїти поняття проникності, коефіцієнта проникності та визначити коефіцієнт абсолютної проникності зразка гірської породи.

4.2 Теоретична частина

Властивість гірської породи пропускати крізь себе рідину чи газ під дією перепаду тиску прийнято називати проникністю. Розрізняють абсолютну, фазову (ефективну) і відносну проникність.

Абсолютна проникність – це проникність пористого середовища для однорідної рідини чи газу, хімічно інертних по відношенні до пористого середовища і при умові повного заповнення пор газом чи рідиною. Абсолютна проникність характеризує фізичні властивості гірської породи, є властивістю породи і не залежить від властивостей рідини чи газу, що рухається (фільтрується) в пористому середовищі, якщо відсутня взаємодія флюїду з гірською породою. На практиці рідини часто взаємодіють з породою (глинисті частинки розбухають у воді, смоли забивають пори). В зв'язку з цим для оцінки абсолютної проникності як правило використовується повітря або газ, так як встановлено, що при русі рідин в пористому середовищі на проникність впливають фізико-хімічні властивості рідин.

Проникність характеризується коефіцієнтом проникності k . Його визначають за законом Дарсі, згідно з яким швидкість фільтрації рідини чи газу в пористому середовищі пропорційна градієнту тиску і обернено пропорційна динамічній в'язкості:

$$v = \frac{k}{\mu} \cdot \frac{\Delta P}{L}, \quad (4.1)$$

де v – швидкість фільтрації, $v = Q/F$, м/с; Q – об'ємна витрата рідини, м³/с; F – площа фільтрації, м²; μ – динамічна в'язкість рідини, Па·с; ΔP – перепад тиску, Па; L – довжина пористого середовища (зразка гірської породи), м.

Проникність гірської породи по рідині визначається за формулою:

$$k_p = \frac{Q \cdot \mu_p \cdot L}{F \cdot \Delta P}, \quad (4.2)$$

Проникність гірської породи по газу згідно з (4.2) після відповідних перетворень (з врахуванням того, що газ значно стисливіший від рідини) визначається за формулою:

$$k_r = \frac{2 \cdot Q_0 \cdot \mu_r \cdot L \cdot P_0}{F \cdot (P_1^2 - P_2^2)}, \quad (4.3)$$

де μ_r – динамічна в'язкість газу (повітря), Па·с; P_0 – атмосферний тиск, Па; Q_0 – об'ємна витрата газу, м³/с; P_1 – абсолютний тиск на вході в зразок, Па; P_2 – абсолютний тиск на виході із зразка, Па;

$$P_1 = P_1' + P_2, \quad (4.4)$$

де P_1' – надлишковий тиск на вході в кернотримач, Па.

Об'ємна витрата газу:

$$Q_0 = \frac{V_r}{\tau}, \quad (4.5)$$

де V_r – об'єм газу (повітря), м³; τ – час проходження газу через зразок гірської породи, с.

Коефіцієнт проникності k виражається в Д (Дарсі) або мД (міліДарсі) і має розмірність м² (тобто розмірність площі). Він залежить від розмірів і конфігурації порових каналів, по яких фільтрується газ, рідина або їх суміш, і обумовлюється тертям, що виникає при фільтрації потоку через ту чи іншу породу.

Очевидно, що чим крупніші пори гірської породи, тим менша різниця між коефіцієнтом проникності по рідині і газу. При певних умовах, що мають місце в пласті (гідратація, набухання глинистих частинок), проникність деяких гірських порід, особливо глинистих пісків, по рідині може суттєво змінюватись.

Таким чином, піски або алеврити, високо проникні для газу, можуть бути практично непроникними для води. Крім того, на значення проникності гірської породи по рідині може суттєво впливати мінералізація води, оскільки вода різної мінералізації володіє різною здатністю змочувати і гідратувати мінеральні зерна.

Абсолютна проникність гірських порід-колекторів більшості нафтових і газових родовищ коливається в середньому в межах $(5 - 1000) \cdot 10^{-15}$ м².

Гірські породи за проникністю поділяють на 6 класів:

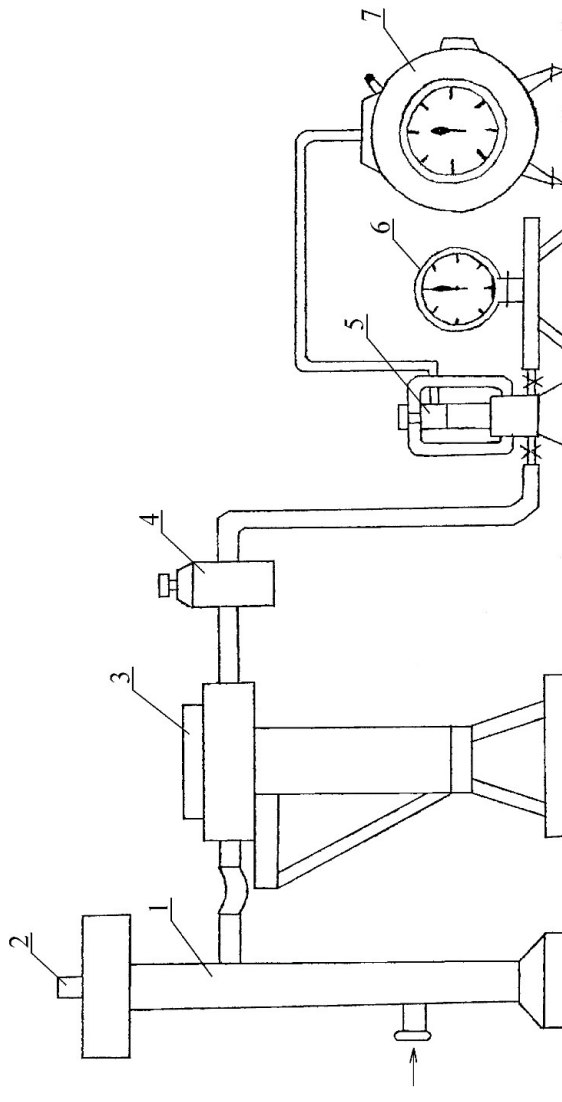
I – дуже добре проникні гірські породи ($k > 1,0$ мкм²); II – добре проникні (від 1,0 до 0,1 мкм²); III – середньопроникні породи (від 0,1 до 0,01 мкм²); IV – слабкопроникні (від 0,01 до 0,001 мкм²); V – дуже слабкопроникні гірські породи (від 1 до 0,1 нм²); VI – практично непроникні ($k < 0,1$ нм²).

4.3 Апаратура та прилади для визначення коефіцієнта абсолютної проникності зразка гірської породи по газу (повітря)

Робота виконується на апараті ГК-5.

Схема апарату наведена на рис. 4.1. Повітря поступає у кернотримач 5, в якому знаходиться досліджуваний зразок породи, з компресора через хлоркальцієву трубку 1 (де воно звільнюється від водяних парів) з манометром 2 і фільтр 3. Далі повітря поступає через газовий лічильник 7 у атмосферу. Витрата повітря регулюється мікроредуктором 4 або вентилем на вході в керно-

тримач і вимірюється з допомогою газового лічильника і секундоміра. Надлишковий тиск повітря на вході у кернотримач P_1 вимірюється манометром 6,



1 – хлоркальцієва трубка; 2 – термометр; 3 – фільтр; 4 – мікроредуктор (регулюючий вентиль); 5 – кернотримач із зразком породи; 6 – манометр; 7 – газовий лічильник.

Рисунок 4.1 – Апарат ГК-5 для визначення абсолютної проникності зразка гірської породи

тиск на виході із зразка P_2 дорівнює атмосферному (вимірюється барометром).

Крім приладу ГК-5, для визначення коефіцієнта абсолютної проникності гірських порід використовують такі прилади, як пермеаметри і пермеаметри-порозиметри (для одночасного визначення коефіцієнтів відкритої пористості та абсолютної проникності гірської породи). Зокрема, в лабораторіях використовують рідинний пермеаметр PERL-200, пермеаметр-порозиметр низького тиску обтискування COREVAL-30, порозиметр-пермеаметр UltroPoroPerm-400, автоматичний пермеаметр-порозиметр AP-608 та інші.

Рідинний пермеаметр PERL-200. Рідинний пермеаметр PERL-200 призначений для вимірювання проникності гірських порід по рідині (в якості рідини використовують лабораторне масло). PERL-200 – це сучасний прилад

для визначення проникності порід. Принцип дії приладу ґрунтується на законі Дарсі.

Вимірювання проникності по рідині проводиться на циліндричних зразках керна. Прилад простий і безпечний в роботі, оскільки не використовується ртуть і нема необхідності у застосуванні засобів для створення високого тиску обтискування.

Очищений і сухий зразок гірської породи вакуумують і насичують інертною рідиною (лабораторне масло), яку потім пропускають через зразок. Зразок породи поміщають в кернотримач і механічно обтискають манжетою з метою уникнення просочування рідини вздовж стінок.

Отримані в ході вимірювань дані, а також покази температури, динамічна в'язкість, розміри зразка та інші параметри використовують для визначення проникності породи за законом Дарсі.

Діапазон вимірювання проникності гірських порід: від 0,1 мД до 1500 мД.

Дані розраховуються з допомогою електронного шаблону в форматі Excel.

Пермеаметр PERL-200 закріплюють на робочому столі. Він надійний в роботі і не вимагає складного технічного обслуговування.

Пермеаметр-порозиметр низького тиску обтискування COREVAL-30 (виробник : Vinci Technologies (Франція)). Призначений для вимірювання пористості і проникності по гелію при фіксованому тиску обтискування до 28 бар. Прилад оснащений комп'ютерною станцією для реєстрації і обробки даних. Проникність по газу визначається при нестационарному режимі фільтрації, а вимірювання пористості виконується за законом Бойля-Маріотта і за законом Шарля для розширення гелію для прямого визначення порового об'єму. За допомогою програмного забезпечення можна також розрахувати еквівалентну проникність зразка керна по повітрю при заданій користувачем величині тиску.

Переваги :

- Прилад дозволяє послідовно проводити вимірювання як пористості, так і проникності зразка без вивантаження із кернотримача;
- Висока точність отриманих результатів.

Технічні характеристики:

Діапазон проникності	0,001 мД – 10000 мД
Діапазон пористості	до 60 %
Поровий тиск	до 17 бар
Діаметр зразка	30 мм, 1.0", 1.5", по запиту
Тиск обтискування	до 27 бар
Витрата газу	0 – 600 см ³ /хв
Подача гелію	27 бар
Подача азоту	35 бар
Подача повітря (сухого)	7 бар
Температура	Навколишнього середовища.

Призначення і коротка технічна характеристика порозиметра-пермеаметра UltroPoroPerm-400. Порозиметр-пермеаметр UltroPoroPerm-400 призначений для вимірювання коефіцієнтів абсолютної проникності для газу і загальної пористості зразків гірських порід. Діапазони вимірювань: коефіцієнта проникності для газу $(0,005 - 3,0) \cdot 10^{-12} \text{ м}^2$; коефіцієнта пористості 0,1 – 40,0 %. Похибка становить відповідно 7,0 % і 6,0 % для коефіцієнта абсолютної проникності для газу і загальної пористості відповідно.

Автоматичний пермеаметр-порозиметр АР-608. Автоматичний пермеаметр-порозиметр АР-608 призначений для вимірювання коефіцієнтів абсолютної проникності і загальної пористості при гірничому тиску до $67,6 \cdot 10^6 \text{ Па}$. Пермеаметр-порозиметр АР-608 розрахований на один зразок, що завантажуються вручну. Коефіцієнт абсолютної проникності вимірюють методом скидання тиску (за Клінкенбергом). Поровий об'єм визначається методом, що ґрунтується на законі Бойля-Маріотта. Прилад може використовуватись в лабораторіях як з малими, так і з великими вимогами щодо об'ємів аналізу керна. Технічні характеристики автоматичного пермеаметра-порозиметра АР-608:

- діапазон вимірювання коефіцієнта абсолютної проникності: від $0,001 \cdot 10^{-15} \text{ м}^2$ до $3 \cdot 10^{-12} \text{ м}^2$;
- діапазон вимірювання коефіцієнта загальної пористості: від 0,01 до 40 %;
- розміри зразків керна: довжина: від 19 до 102 мм, діаметр: 25 або 38 мм;
- гірничий тиск: від $2 \cdot 10^6$ до $67,6 \cdot 10^6 \text{ Па}$.

4.4 Порядок виконання роботи

4.4.1 Вимірюють довжину та діаметр зразка породи і встановлюють його у кернотримач.

4.4.2 Вмикають компресор і пускають повітря у кернотримач, регулюючи його подачу вентилем мікроредуктора або кернотримача.

4.4.3 Через 5 – 6 хвилин після встановлення фільтрації газу через kern знімають покази манометра P_1' , а з допомогою газового лічильника визначають об'єм газу V_r , фіксуючи секундоміром час його проходження через зразок t . Записують покази термометра. Встановлення усталеної фільтрації повітря контролюється проведенням контрольних вимірів до тих пір, доки значення вказаних величин не стане постійним. Досліди повторюють 6 – 7 разів при різних перепадах тиску.

4.4.4 З метою контролю за лінійністю потоку в процесі вимірів проникності будують графік залежності витрати повітря Q від ΔP^2 (тобто $Q = f(P_1^2 - P_2^2)$), яка повинна мати вигляд прямої, що проходить через початок координат. У випадку порушення лінійності даної залежності виміри повторюють при інших перепадах тиску.

4.4.5 Результати дослідів заносять у таблицю 4.1 і визначають абсолютну проникність зразка гірської породи за формулою (4.3).

Таблиця 4.1 – Результати дослідів та обчислень для визначення коефіцієнта абсолютної проникності гірської породи

Показники	Позначення	Одиниці вимірювання	№№ дослідів						
			1	2	3	4	5	6	7
Діаметр зразка гірської породи	d	м							
Площа фільтрації	F	м ²							
Довжина зразка гірської породи	L	м							
Температура повітря	t	°C							
Динамічна в'язкість повітря	μ_r	Па·с							
Барометричний тиск	P ₀	Па							
Надлишковий тиск на вході в кернотримач	P ₁ '	Па							
Тиск на вході у зразок	P ₁	Па							
Тиск на виході із зразка	P ₂ = P ₀	Па							
Об'єм газу, виміряний газовим лічильником	V _г	м ³							
Час досліду	τ	с							
Витрата газу	Q ₀	м ³ /с							
Коефіцієнт газопроникності	k	м ²							
Середнє значення коефіцієнта газопроникності	k _{сер}	м ²							

Динамічна в'язкість повітря при різних значеннях температури наведена в таблиці 4.2.

Таблиця 4.2 – Динамічна в'язкість повітря при різних значеннях температури

Температура повітря t , °C	17	18	19	20	21	22
Динамічна в'язкість повітря μ_t , 10^{-5} Па·с	1,793	1,798	1,803	1,808	1,813	1,818

4.5 Контрольні запитання

- 4.5.1 Що розуміють під проникністю гірської породи?
- 4.5.2 Дайте визначення всіх видів проникності.
- 4.5.3 Виведіть формулу для визначення коефіцієнта проникності зразка гірської породи по рідині та по газу.
- 4.5.4 В яких одиницях визначається k і в яких межах змінюється коефіцієнт проникності в нафтогазопромисловій справі?
- 4.5.5 Яким чином, на Вашу думку, можна удосконалити установку ГК-5?
- 4.5.6 При розгляді яких питань нафтогазової справи використовують поняття та значення коефіцієнтів проникності?
- 4.5.7 Як впливають тиск і температура навколишнього середовища на значення коефіцієнта проникності?

4.6 Рекомендовані джерела інформації:

/1,2,3,4,6,13/