

ДО МЕТОДИКИ ВИЗНАЧЕННЯ АБСОЛЮТНОЇ ГАЗОПРОНИКНОСТІ В ХОДІ ОПЕРАТИВНОЇ ОБРОБКИ КЕРНУ

У статті розглянуто питання застосування протитиску при визначенні абсолютної газопроникиності зразків гірських порід в процесі оперативної обробки керна матеріалу пошукових і розвідувальних газових свердловин. Показані причини, що обумовлюють застосування цього методичного прийому, запропонована принципова схема і деякі конструктивні елементи приладу, що забезпечує застосування цієї методики.

Ключові слова: дослідження керна, колекторні властивості, абсолютна газопроникиність.

С.Ф. Поверенний, А.Й. Лур'є, Е.В. Поддубная. К МЕТОДИКЕ ОПРЕДЕЛЕНИЯ АБСОЛЮТНОЙ ГАЗОПРОНИЦАЕМОСТИ В ХОДЕ ОПЕРАТИВНОЙ ОБРАБОТКИ КЕРНА. В статье рассмотрен вопрос применения противодействия при определении абсолютной газопроницаемости образцов горных пород в процессе оперативной обработки керна материала поисковых и разведочных газовых скважин. Показаны причины, обуславливающие применение данного методического приема, предложена принципиальная схема и некоторые конструктивные элементы прибора, обеспечивающего применение данной методики.

Ключевые слова: исследования керна, коллекторские свойства, абсолютная газопроницаемость.

Зв'язок з потребами практики. Лабораторні дослідження керна є невід'ємним етапом геологорозвідувальних робіт на нафту і газ. Без результатів лабораторних аналізів не може бути виконана якісна інтерпретація матеріалів ГДС, не може бути виконаний підрахунок запасів, не можуть бути ліквідовані свердловини, що виконали своє завдання. Якість результатів лабораторних досліджень залежить від методично правильного їх проведення. Методики комплексу досліджень на стадії підрахунку запасів розроблені досить повно, проте, методики оперативних досліджень не завжди відповідають потребам практики.

Аналіз останніх публікацій. Питання методики досліджень, зокрема, методика визначення абсолютної газопроникиності розглядалася в статті «Методичні питання лабораторних досліджень керна матеріалу нафтових і газових свердловин», опублікованою в попередній збірці «Вісника Харківського Університету». Проте, в цій статті не було розглянуто питання визначення абсолютної газопроникиності зразків з гранично високими значеннями (> 3-5 дарсі)

Мета статті - запропонувати вирішення цієї проблеми за допомогою застосування протитиску на виході зразка.

Виклад основного матеріалу. Абсолютна газопроникиність є одним з основних параметрів колектора і в ході оперативних досліджень визначається в атмосферних умовах практично за усіма відібраними зразками. Згідно з найбільш поширеним визначенням, «під абсолютною проникністю розуміється проникність пористого середовища, яка визначена при фільтрації єдиної фази, фізично і хімічно інертної до по-

роди» [1]. В якості цієї єдиної фази зазвичай вказується газ (азот або повітря) і однорідна рідина [2]. Практично абсолютна проникність у рамках оперативних досліджень визначається по газу.

Доведено, що газопроникиність дуже сильно залежить від перепаду тисків і середнього тиску у зразку: з ростом останніх вона знижується. Урахування цього явища, обумовленого «прослизанням» газу, зумовило введення поняття «приведеної абсолютній проникності» під якою, згідно методичних вказівок 2005 року [3], розуміється «проникиність, яка визначена в процесі фільтрації газу на різних середніх тисках і екстрапольована до нескінченно великого середнього тиску. При цьому враховується проковзування молекул газу (ефект Клінкенберга). Аналогічне визначення приведення введено і в СОУ 73.1-41-08.11.08:2006 [4], і в методичних вказівках 2010 року [5].

Автори розробленого Львівським відділенням УкрДГРІ СОУ [4], рекомендують триразове вимірювання на різних тисках, у межах від 1 до 3 атм, і пропонують як стандартні, перепади у 0,1 Мпа, 0,13 Мпа і 0,16 Мпа (при вільному підборі об'ємів). У вищезгаданому стандарті рекомендується у зведену таблицю, за допомогою якої результати видаються замовнику, включати «...не середні величини $K_{пр}$ за результатами трьох вимірювань, а значення $K_{пр}$ адекватні проникності пор однофазної рідини – тобто ті, що отримані на перетині кривих залежності $K_{пр}=f(1/\Delta P)$ із віссю ординат». На основі проведених досліджень стверджується, що при рекомендованих режимах залежність $K_{пр}=f(1/\Delta P)$ є прямолінійною у діапазоні проникностей від 1 до 1000 мд. Проведені нами

дослідження не завжди підтверджують це положення, на наш погляд, причини збільшення проникності при зниженні середнього тиску у зразках, яке стає найбільш помітним на зразках з великою проникністю, не є остаточно виявленими і потребують подальших досліджень, які дозволять більш докладно обґрунтувати принцип і методику визначення абсолютної газопроникності.

Можна погодитися, що на стадії підготовки матеріалів до підрахунку запасів дійсно кінцевим результатом визначення може бути згадана в СОУ 73.1-41-08.11.08:2006 приведена проникність. Але, під час оперативної обробки ядерного матеріалу з виконанням масових аналізів і обмеженим терміном його виконання, більш доцільним є - на наш погляд - встановлення якогось (навіть чисто довільно прийнятого) фіксованого значення середнього тиску, при якому і повинні бути визначені зразки з метою забезпечення рівних умов визначення і збіжності результатів. У якості такого значення можна прийняти, наприклад, один з рекомендованих згаданим у СОУ перепадів тиску у 0,1 МПа [6].

Проте, при визначеннях за високопроникними зразками не завжди вдається підтримувати такий порівняно високий перепад тисків виникнення високих швидкостей фільтрації, що ведуть до росту втрат, пропорційних квадрату швидкості і виникнення нелінійності фільтрації.

Так, наприклад, зразки, що відібрані з інтервалу 1445-1453 м у свердловині 22 Ливенській (Горизонт В-23 верхньовізейського підярусу), мають виміряну на приладі ГК-0,5 позірну абсолютну проникність до 25 дарсі. Це світлосірі, у цілому по шару різнозернисті, гравелисті пісковики, що прошарками змінюють зернистість від середньо-крупно- до грубозернистих, з кварцово-глинистим цементом, косошаруваті, цементация слабка, але у більшості випадків

достатня для виготовлення правильного циліндру. Середня проникність по шару становить 5557 мд, при коливаннях від 845 до 24997,3 мд. Середня пористість по шару становить 19,4%, при коливаннях від 15,0 до 21,6%. Максимальні значення проникності пов'язані з грубозернистими різницями, що пояснюється відносно великим розміром пор і порових каналів останніх. На жаль, пісковики з такими видатними властивостями виявилися водонасиченими, але у даному випадку це не має значення.

При контролі якості визначення проникності відмічаються відхилення від прямої, що проходить крізь начало координат на графіку залежності витрати газу від перепаду тиску (рис. 1), що свідчить про помітно нелінійний характер фільтрації. Визначення приведеної проникності, згідно СОУ 73.1-41-08.11.08:2006 [4], дає проникність у 14104 мд (рис 2). Згідно згаданому СОУ екстраполюється пряма лінійної залежності «проникність – перепад тиску». Теоретично проковзування газу залежить від середнього тиску у зразку і екстраполяції підлягає залежність проникності від середнього тиску, що відображене і у методичних вказівках, розроблених Львівським відділенням УкрДГРІ [3,5], і у старому ГОСТі [7], і в учбових посібниках МГУ [8]. У літературі немає даних, як саме апроксимується ця залежність. Роботи деяких авторів [9] містять ствердження, що не має різниці, яку залежність екстраполювати. Але, у даному випадку, спроба графічно визначити приведену проникність за залежністю «проникність – середній тиск» є невдалою, оскільки лінійна залежність приводить нас в область глибоко від'ємних значень коефіцієнта проникності, а експоненціальна дає незрозумілі результати (рис. 3). Таким чином, дійсні значення проникності згаданих зразків залишаються під сумнівом.

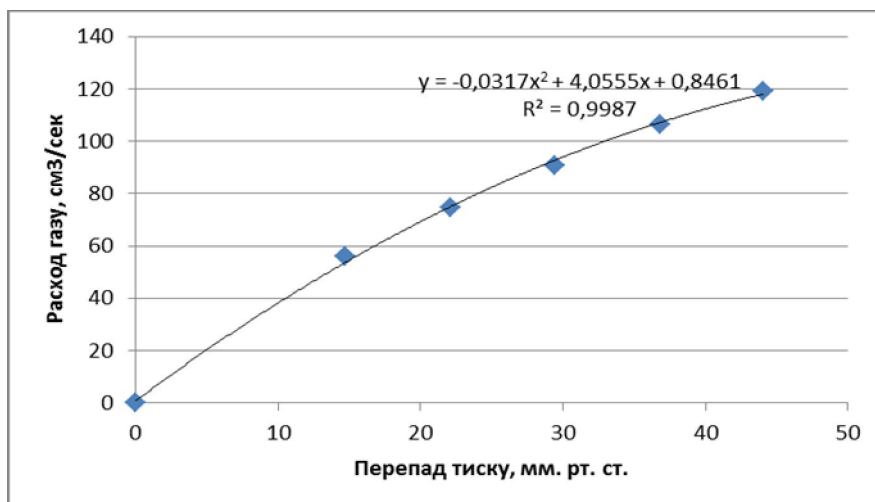
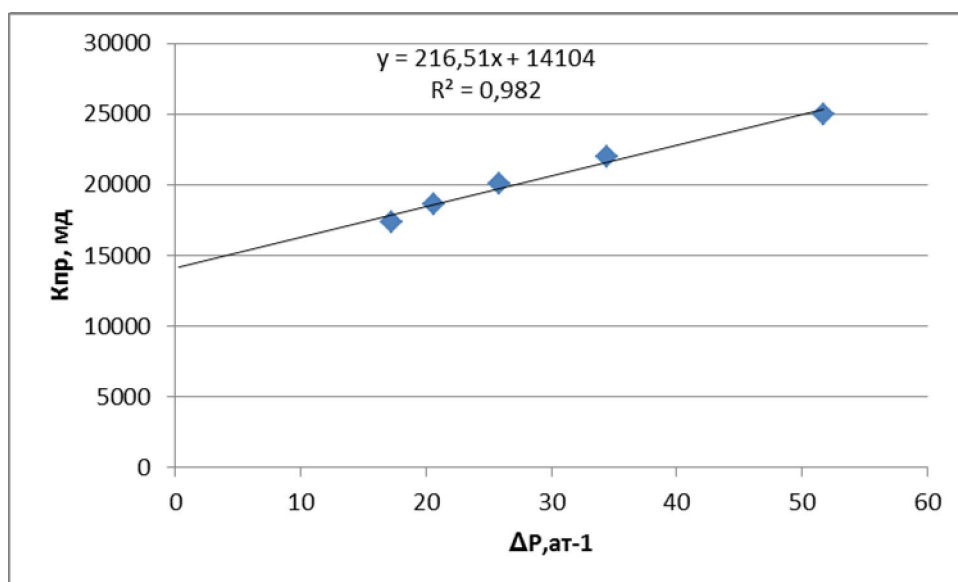
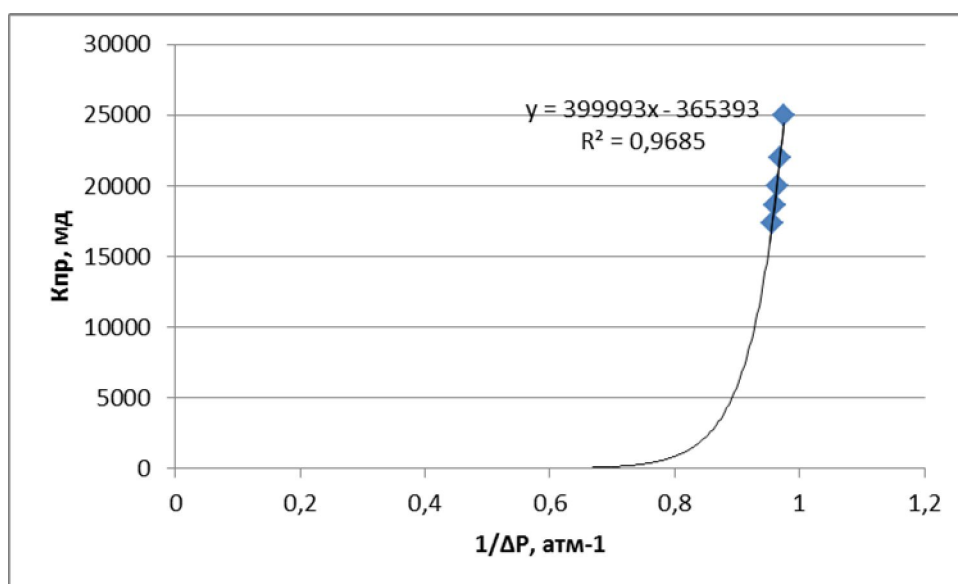


Рис. 1. Залежність расходу газу від перепадів тиску (зразок 44350)

Рис. 2. Залежність значення абсолютної газопроникності від величини $1/\Delta P$, визначення приведенної проникності (зразок 44350)Рис. 3. Залежність значення абсолютної газопроникності від величини $1/P_{ср}$, визначення приведенної проникності (зразок 44350)

Слід відмітити, що більшість приладів для визначення газопроникності, не розраховані на такі інтервали проникності. Наприклад, прилад «Эпрон», виробництва російської фірми «Тенакон», розрахований на визначення газопроникності в інтервалі від 0,01 до 3000 мкм². На приладі ГК-0,5, що входив колись у комплект АКМ і є трохи більш універсальним, просто неможливо при таких проникностях створити тиски на вході, що перевищують 60 мм ртутного стовпа. Навіть, при визначеннях з виміром тиску на вході по водяному манометру, витрата газу сягає 120 м³/сек, а швидкість фільтрації досягає 26 см/сек, при цьому дійсна швидкість руху газу може перевищувати 100 см/сек. Якщо якийсь і вдасться підняти тиск на вході до 1 атм,

то швидкості руху стануть настільки великими, що у таких крупнопорових, високопроникних зразках скоріше від усього, рух вже не буде ламінарним і розрахунки за класичною формулою Дарсі стають некоректними.

Можливим виходом з цього стає визначення проникності зразків з протитиском. У разі вихідного тиску, рівного атмосферному, середній тиск в зразку пропорційний перепаду тисків. Оскільки явище прослизання газу залежить не від перепаду тисків, а від середнього тиску у зразку, можна порушити цю пропорційність, створюючи високі середні тиски при низьких перепадах, що забезпечують порівняно низькі швидкості фільтрації.

Застосування протитиску вимагає внесення в конструкцію приладів деяких змін, зокрема введення в конструкцію регулятора протитиску і невеликих змін в методиці розрахунків результатів. Принципова схема приладу з можливістю створення протитиску на базі ГК-0,5 наведена на рисунку 4.

Конструкція регулятора може бути різною. У якості прикладу на рисунку наведений один з

варіантів принципової схеми регулятора (рис 5). Для протікання газу крізь регулятор потрібно, щоб тиск на вході регулятора (тобто після зразка) був вищий ніж протитиск у кільцевому просторі камери регулятора. При використанні цієї схеми треба мати на увазі, що за рахунок дії гумового ніпеля, система буде мати постійний протитиск, тому слід передбачити можливість відключення регулятора.

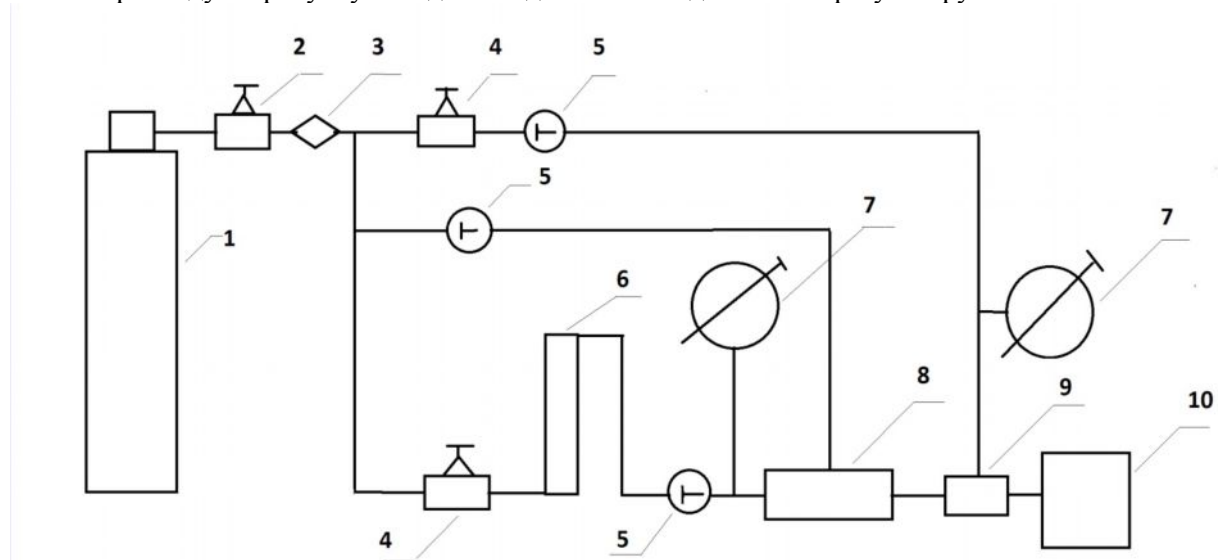


Рис. 4. Принципова схема приладу. 1 - балон з газом, 2 - редуктор високого тиску, 3 - фільтр, 4 – редуктори низького тиску, 5 - триходові крани, 6 - хлоркальцієва трубка, 7 - зразкові манометри, 8 - керно-тримач, 9 - регулятор протитиску, 10 – вимірювач витрати газу.

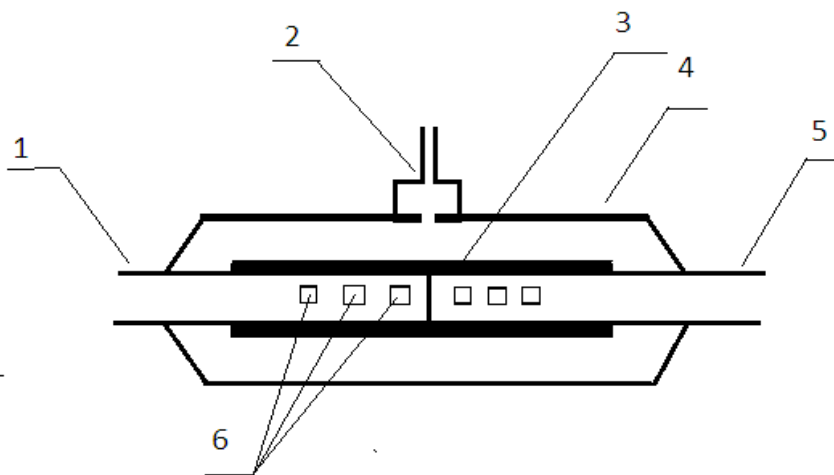


Рис. 5. Схема дії регулятора протитиску з гумовим ніпелем. 1 - вхідний патрубок, 2 - штуцер протитиску, 3 - гумовий ніпель, 4 – камера регулятора, 5 - вихідний патрубок, 6 – перфорація вхідного та вихідного патрубок, 7 – затискач, що герметизує гумовий ніпель.

При визначеннях з протитиском формула і порядок розрахунку залишається без змін, тільки у якості тиску на виході приймається значення протитиску. Обчислення результатів проводиться по формулі

$$k=2Q_{\text{атм}}P_{\text{атм}}\mu l/F(P_1^2-P_2^2),$$

де k - коефіцієнт газопроникності; $Q_{\text{атм}}$ - об'ємна витрата газу при атмосферному тиску;

$P_{\text{атм}}$ - атмосферний тиск, μ - динамічна в'язкість, l - довжина зразка. F - площа поперечного перерізу зразка, P_1 - тиск до зразка, P_2 - тиск після зразка.

Висновки. Таким чином, при визначенні з протитиском, створюється можливість в ході оперативних визначень проникності контролювати середній тиск у зразку і усі визначення ви-

конувати не тільки при постійному перепаді тиску, а при постійному середньому тиску

Виникає питання, яким має бути цей середній тиск? Якщо задатися рекомендованим перепадом в 1 атм, то середній абсолютний тиск в зразку має бути рівним 1,5 атм. На наш погляд, це і є та величина, яку разом з перепадом треба контролювати при визначеннях за високопроникними зразками з використанням протитиску.

Пісковики з властивостями, подібними вищезгаданим, зустрічаються дуже рідко. У продуктивних товщах ДДЗ піщані колектори навіть з проникністю більше 1 дарсі – одиничні, ще більш нечисленними є **продуктивні** колектори першого і, навіть, другого класу (0,5-1,0 дарсі). Але, вже за рахунок своєї нечисленності, вони викликають підвищений інтерес, який обумов-

лює необхідність розробки методики роботи з ними. Особливу цікавість викликає питання визначення високих проникностей у зв'язку з проявами неоднорідності будови продуктивних колекторів, що викликана наявністю дуже високопроникних прошарків у товщі відносно щільного пласта. Такі прошарки, за рахунок своєї високої проникності, виконують роль так званого «суперколектору» [10], дренають основний пласт і забезпечують дуже високі дебіти з колекторів з відносно невисокою середньою проникністю. Висока проникність подібних прошарків може бути обумовлена як тріщинуватістю, так і первинною міжгранулярною проникністю. Можливим прикладом такого «суперколектору» є згадані вище пісковики.

Література

1. Добрынин В.М., Вендельштейн Б.Ю., Кожевников Д.А. *Петрофизика. Учеб. для вузов.* – М.: Недра, 1991. – 368 с.
2. Ханин А.А. «Породы-коллекторы нефти и газа и их изучение». Недра; 1969. 368 с.
3. Обґрунтування кондиційних значень фільтраційно-ємкісних параметрів теригенних порід-колекторів для підрахунку загальних запасів вуглеводнів (за лабораторними дослідженнями керна). *Методичні вказівки. ЛВ УкрДГРІ; Київ-Львів, 2005.*
4. СОУ 73.1-41-08.11.08:2006 *Визначення коефіцієнтів абсолютної та ефективної проникності гірських порід за стаціонарної фільтрації газу. Методичні вказівки. ЛВ УкрДГРІ; Київ-Львів, 2006.*
5. Вивчення фізичних властивостей гранулярних порід-колекторів до підрахунку запасів нафти та газу об'ємним методом. *Методичні вказівки. ЛВ УкрДГРІ; Київ-Львів, 2010.*
6. С.Ф. Поверенний, А.Й. Лур'є, О.В. Піддубна. *Методичні питання лабораторних досліджень керна матеріалу нафтових та газових свердловин. Вісник ХГУ, №1033, 2012.*
7. ГОСТ 26450.2-85 *Породы горные. Метод определения коэффициента абсолютной газопроницаемости при стационарной и нестационарной фильтрации.* М.; Изд-во стандартов, 1985.
8. М.К. Иванов, Г.А. Калмыков, В.С. Белохин, Д.В. Корост, Р.А. Хамидуллин. *Петрофизические методы исследования керна материала, книга 2. Изд-во МГУ, 2008.*
9. Н.С. Гудок, Н.Н. Богданович, В.Г. Мартынов. *Определение физических свойств нефтеводосодержащих пород.* – М.: Недра. 2007.
10. *Суперколлекторы и их роль в управлении системой разработки месторождений. И.П. Жабров, С.Н. Закиров, М.А. Политыкина.* – Геология нефти и газа, №8, 1986.