

В.М.Владика
М.Ю.Нестеренко
 д-р геол. наук
Р.С.Балацький
 Львівський комплексний
 науково-дослідний центр УкрНДІгазу

Методика досліджень і тестові експерименти з вивчення петрофізичних властивостей слабкоконсолідованих і сипучих порід

УДК [552.08.53]: 553.98.23.(477)

За допомогою створеного вимірювального комплексу для вивчення петрофізичних властивостей слабкоцементованих, розсипчастих і сипучих порід та проб шлама виконано тестові експерименти на пробах кар'єрного піску відомого гранулометричного складу, консолідованих і дезінтегрованих зразках порід майкопської серії Субботінського нафтового родовища. Експериментально встановлено, що темп усадки пухких зразків різко зменшується і затухає на рівні ефективних тисків 30–35МПа, що і призводить до стабілізації їх фільтраційно-ємнісних і деформаційних властивостей. Вивчення порід, які виносяться під час буріння у вигляді піску та шлама, відкриває можливості широкого використання отриманих даних для інтерпретації ГДС та підрахунку запасів вуглеводнів.

С помощью созданного измерительного комплекса для изучения петрофизических свойств слабкоцементированных, рыхлых и сыпучих пород и проб шлама выполнены тестовые эксперименты на пробах карьерного песка известного гранулометрического состава, консолидированных и дезинтегрированных образцах пород майкопской серии Субботинского нефтяного месторождения. Экспериментально установлено, что темп усадки рыхлых образцов резко уменьшается и затухает на уровне эффективных давлений 30–35МПа, что и приводит к стабилизации их фильтрационно-емкостных и деформационных свойств. Изучение пород, которые выносятся при бурении в виде песка и шлама, открывает возможности широкого использования полученных данных в интерпретации ГИС и подсчете запасов углеводородов.

With the use of created measuring system for the study of petrophysical properties of incompetent, friable and loose rocks and sludge samples test experiments were performed on pit sand samples of known grain-size distribution, consolidated and disintegrated rock samples of Subbotin oil field of the Maykop formation. It was experimentally established that the shrinkage rate of soft rocks decreases sharply and attenuates at the effective pressure of 30 to 35MPa, which leads to stabilization of their filtration-capacitive and deformation behavior. The research of rocks, which are returned during drilling in the form of sand and cuttings, opens opportunities for using the obtained data for interpretation of production well logging and calculation of hydrocarbon reserves.

Практичний досвід проведення досліджень слабкоконсолідованих і сипучих порід [1–5] свідчить про те, що одержати необхідну детальну інформацію про їх фільтраційно-ємнісні та електричні властивості здебільшого неможливо, оскільки подібні колектори руйнуються у процесі буріння і виносяться на поверхню у вигляді шлама або піску.

Попередній аналіз результатів лабораторних досліджень, виконаних В.М. Бортницькою, Т.С. Ізотовою і Ю.С. Губановим для крихких піщано-алевритових порід середньомайкопських відкладів Стрілкового родовища в Південному НГР показує, що зменшення пористості пісковиків за всебічного навантаження залежить від глинистості. За її значень від 6,3 до 43,2 % коефіцієнт ущільнення змінюється від 1 до 1,76 [1]. Безумовно, подібні дослідження потрібно виконувати із застосуванням відповідного обладнання та пристроїв, що конструктивно відрізняються від тих, які використовують для вивчення консолідованих порід-колекторів.

Метою статті є розроблення методики досліджень і створення багатофункціональної, простої та надійної установки, за допомогою якої почергово на одному і тому ж зразку можна вивчати фільтраційно-ємнісні, деформаційні та електричні властивості слабкоцементованих і сипучих порід-колекторів нафти і газу.

Установка (рис. 1) містить у собі кернотримач 1, у корпус якого впресовано фторопластову втулку 2, всередині якої розміщено слабкоконсолідований чи сипучий зразок або дезінтегровану пробу шлама 3. Знизу і зверху зразка (проби) встановлено перфоровані металеві шайби з радіальними прорізами і кільцями із фільтрувального паперу 4, штоки 5 і 6, по периметру яких вставлено ущільнюючі гумові кільця 7. Нижній 5 і верхній 6 штоки мають центральні і бокові отвори для подачі на зразок і відведення від нього робочих агентів (газ, пластів флюїди, гексан), причому центральні отвори штоків можуть перекриватися запірними вен-тилями 8, 9.

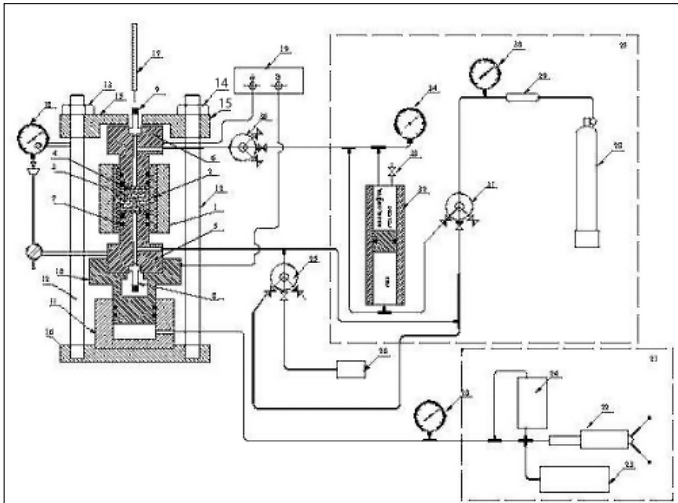


Рис. 1. Принципова схема установки для визначення петрофізичних параметрів слабкоконсолідованих і сипучих порід-колекторів та проб шлану

Нижній шток 5 встановлено на плунжері 10, який вертикально переміщається в опорному циліндрі 11. Опорний циліндр 11 разом із зазначеними складовими кернотримача 1 за допомогою шпильок 12, накидних гайок 13, 14 і кришки 15 жорстко кріпиться до основи 16. До центрального отвору верхнього штока 6 під'єднано капіляр (із рухомим краном).

До плунжера 10 і верхнього штока 6 під'єднано блок вимірювання електричного опору 19. До бокового отвору опорного циліндра 11 за допомогою гідравлічної лінії через манометр 20 під'єднано гідравлічний вузол 21. Останній складається із ручного преса 22, фільтраційної установки (типу УИПК – 1М), яка має плунжерний насос із електроприводом 23 і додатково встановленим гідроаккумулятором 24 (знижує пульсування тиску), виготовленим у вигляді товстостінного металевого циліндра. До бокового отвору нижнього штока 5 є можливість під'єднання через маніфольд 25 вакуумного насоса 26. Крім того, до бокового отвору верхнього штока 6 через маніфольд 36 під'єднано вузол 27, що містить балон 28 газовий (азот) із редуктором, трубку хлоркальцієву 29, манометри 30, 34, маніфольд 31, поршневі розділювачі 32, заповнений мінералізованою водою або її моделлю, пластовою нафтою чи гексаном через вентиль 33. У принциповій схемі установки передбачено можливість під'єднання до маніфольда 31 пристрою для вимірювання відкритої пористості порід газоволюметричним методом [6].

На розробленій апаратурі проведено тестові експерименти: оцінку можливої похибки в процесі досліджень за рахунок усадки з'єднань із різних матеріалів у кернотримачі (калібрувальна крива 1 на рис. 2); зміна довжини (ΔL) дезінтегрованої проби (зразка) під час ступеневого вертикального навантаження (крива 2 на рис. 2) та зміна абсолютної проникності в процесі вже згаданого навантаження (крива 3).

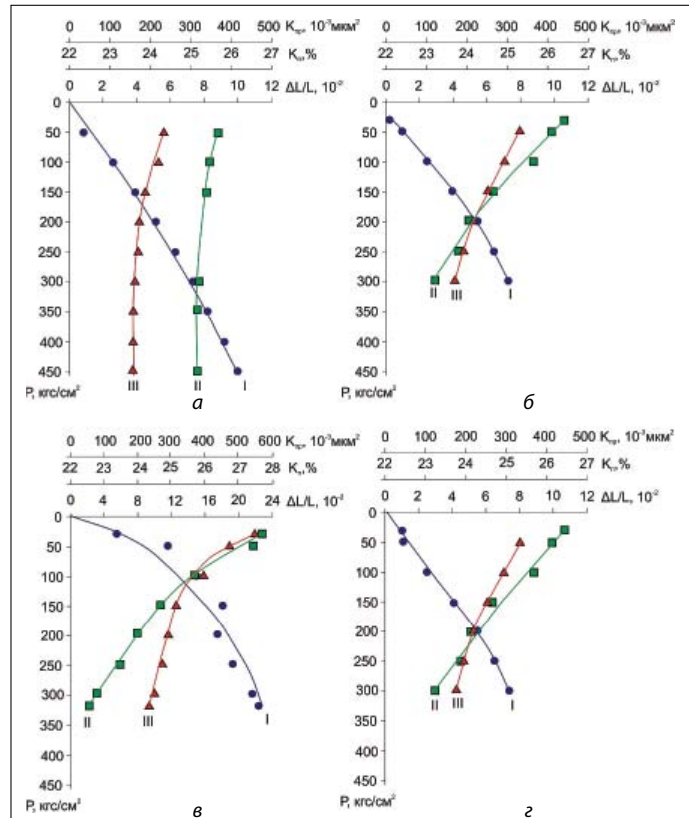


Рис. 2. Зміна колекторських властивостей від вертикального стиснення сипучих і дезінтегрованих порід: а – пісок кар'єрний (проба 1); б – пісок кар'єрний (проба 2); зразки зі св. 2 Субботінського нафтового родовища: в – лабораторний номер 19.11; з – лабораторний номер 19.11а; цифрами I, II, III позначено відповідно залежності $\Delta L/L$, K_n і $K_{пр}$ від P

Уже перші пробні лабораторні експерименти засвідчили, що установка спроможна працювати за навантажень, які перевищують 3000 кгс/см^2 , що відповідає ефективному тиску понад 40 МПа і повністю охоплює інтервал глибин, на яких можуть зустрічатися крихкі та сипучі породи.

Для експериментів було обрано дві проби кар'єрного піску (м. Львів) та зразків крихких глинистих пісковиків св. 2 Субботінського нафтового родовища, які вимушено руйнували в процесі насичення їх пластовою водою загальною мінералізацією 30 г/л. На кожному із зразків вивчали зміни його довжини ($\Delta L/L$) та початкові і поточні значення фільтраційно-ємнісних характеристик у процесі зростання вертикального навантаження, яке моделює ущільнення подібних порід під дією ефективного тиску. Крім того, безперервно записуючи навантаження та зміни довжини зразків, визначали модуль деформації ($E_{ст}$), тобто модуль Юнга при вертикальному стисненні [4].

Готуючи кар'єрний пісок до досліджень, його просіювали, висушували, а пробу піску зважували, у втулці 2 з неї формували циліндричний зразок діаметром і завдовжки 30 мм. Зразки керна зі св. 2 Субботінського нафтового родовища висушували, після чого їх руйнували

у ступці до консистенції піску, у втулці з них формували циліндричну пробу згаданого розміру.

Відносне зменшення довжини зразка в процесі навантаження відбувалося поступово, без будь-яких різких змін. Починаючи з вертикальних тисків 250–300 кгс/см² (24,5–29,4 МПа) темп усадки (стиснення) зразків дещо зменшується (див. рис. 2). На кожному ступені навантаження зразків розраховували поточну пористість порід, тоді як її початкові значення були виміряні газоволюметричним способом [6]. Зміна пористості в ході досліджень відповідає співвідношенню:

$$K_{п} : \frac{L_0}{L_{пот}} = K_{п}^{пот},$$

де $K_{п}$ – початкове значення пористості, %; L_0 – початкова довжина зразка, см; $L_{пот}$ – поточна довжина зразка, см.

Справедливість цього співвідношення підтвердилася під час досліджень дезінтегрованих зразків (циліндрів) зі св. 2 Субботінської, коли за навантажень, подібних до глибин їх залягання, сформований в установці циліндр мав пористість, аналогічну тій, що була у вирізаного із керна циліндра. Так, якщо у такого циліндра (зразок 19.1^а) початкова пористість становила 22,9 %, а у циліндра (зразок 19.11^а) вона не перевищувала 19,95 %, то після стиснення їх дезінтегрованих проб до 300 кгс/см² (29,4 МПа) пористість відповідно дорівнювала 22,76 і 19,97 %. Збіг матричної відкритої пористості і пористості проб (циліндрів), сформованих в установці, дуже високий, але не виключено, що ця точність може зменшитися зі збільшенням обсягів досліджень і точності визначення ефективних тисків.

Одночасно з пористістю вивчали і зміну абсолютної газопроникності кар'єрного піску та штучно сформованих циліндрів піщано-глинистих порід Субботінського нафтового родовища. Усі дезінтегровані (сипучі) проби характеризувалися високою початковою абсолютною газопроникністю у межах $(298-553) \cdot 10^{-3}$ мкм². У процесі поступених навантажень вона поступово зменшувалася до 2 і більше разів. Максимальне зменшення проникності відбувалося у межах навантажень $(139-2119,5)$ кгс/см²·см², тоді як у подальшому абсолютна газопроникність зменшується слабо.

Отже, стабілізація фізичних властивостей слабкоконсолідованих і крихких порід відбувається за ефективних тисків у 30–35 МПа.

Проведені розрахунки засвідчили, що модуль деформації у сипучих породах значно менший (проби 1, 2), ніж у дезінтегрованих пісковиках Субботінського нафтового родовища з вмістом пелітової фракції 12,9–21,9 %.

Отже, проведені тестові дослідження сипучих порід засвідчили, що за допомогою вищеописаної установки можна проводити різноманітні лабораторні експерименти з вивчення петрофізичних характеристик згаданих порід. Ця апаратура також дає змогу проводити аналогічні дослідження і з консолидованими породами-колекторами із використанням конструкцій стандартних кернотримачів.

Список літератури

1. **Бортницкая В.М.** Определение кондиционных значений параметров сыпучих песчано-глинистых коллекторов / В.М. Бортницкая, Т.С. Изотова, Ю.С. Губанов // Геология нефти и газа. – 1978. – № 4. – С. 48–54.

2. **Нестеренко М.Ю.** Петрофізичні основи обґрунтування флюїдонасичення порід-колекторів: монографія / М.Ю. Нестеренко. – К.: УкрДГРІ, 2010. – 224 с.

3. **Шишигин С.И.** Методика определения коллекторских свойств сеноманской залежи Уренгойского месторождения газа / С.И. Шишигин, Н.Н. Шиповалова // Труды ЗапСибНИГНИ, 1980. – Вып. 158. – С. 62–67.

4. **Спивак А.И.** Механика горных пород / А.И. Спивак, А.Н. Попов. – М.: Недра, 1975. – 200 с.

5. **Петрофизические** исследования пород новых продуктивных объектов Западно-Сибирской равнины с целью обоснования подсчетных параметров: в 2 т. – Тюмень: ЗапСибВНИИ Геофизика, 1983. – Т. 1: Петрофизические исследования пород новых продуктивных объектов Западно-Сибирской равнины с целью обоснования подсчетных параметров / В.Г. Мамяшев, А.М. Верховский, С.И. Куваев [и др.]. – 223 с.

6. **Нестеренко М.Ю.** До питання визначення відкритої пористості порід за допомогою газоволюметричного методу / М.Ю. Нестеренко, Я.А. Пилип, В.В. Іванов, Ю.М. Віхоть // Нафт. і газова пром-сть. – 2011. – № 2. – С. 17–21.

Автори статті



Владика Віталій Миколайович

Завідувач Львівським комплексним науково-дослідним центром УкрНДІгазу. Закінчив Львівський національний університет «Львівська політехніка» (за фахом інженер-технолог) та Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу (за фахом гірничий інженер із видобування нафти і газу). Коло наукових досліджень: розробка родовищ вуглеводнів, фізика пласта.

Нестеренко Микола Юрійович

Провідний науковий співробітник Львівського комплексного науково-дослідного центру УкрНДІгазу, доктор геологічних наук. Закінчив Київський геологорозвідувальний технікум та Івано-Франківський інститут нафти і газу (геологорозвідувальний факультет, спеціальність – гірничий інженер-геолог). Коло наукових інтересів: нафтогазопромислова геологія, фізика пласта, петрофізика. Автор близько 70 наукових публікацій, 10 патентів на винаходи, шести галузевих стандартів України.



Балацький Роман Степанович

Молодий науковий співробітник Львівського комплексного науково-дослідного центру УкрНДІгазу. Закінчив Львівський національний університет ім. І. Франка (геологічний факультет, спеціальність геологічна зйомка, пошуки та розвідка). Коло наукових інтересів: нафтогазопромислова геологія.

