

© В.М. Владика

Львівський комплексний науково-дослідний центр УкрНДІгазу

Моделювання процесу ущільнення слабозцементованих і сипучих піщано-алевритових порід

УДК 553.982

На прикладі порід, представлених мономінеральними кварцовими пісковиками (горизонт НД-9), експериментально обґрунтовано граничні умови і можливості моделювання сипучих порід, які виносяться у вигляді піску і шламу. Граничне значення водонасичення, за якого фазова газопроникність наближається до нуля, становить 62 %. Пористості консолидованих порід і дезінтегрованої проби виявилися практично ідентичними (18–18,1 %), а для визначень газопроникності необхідно застосовувати зменшувальний перерахунковий параметр 4,5.

Ключові слова: порода-колектор, зразок, дезінтегрована проба, шлам, пористість, газопроникність, ефективний тиск.

На примере пород, представленных мономинеральными кварцевыми песчаниками (горизонт НД-9), экспериментально обоснованы граничные условия и возможности моделирования сыпучих пород, выносимых в виде песка и шлама. Предельное значение водонасыщения, при котором фазовая газопроницаемость приближается к нулю, составляет 62 %. Пористости консолидированных пород и дезинтегрированной пробы оказались практически идентичными (18–18,1 %), а для определения газопроницаемости необходимо применять понижающий пересчетный параметр 4,5.

Ключевые слова: порода-коллектор, образец, дезинтегрированная проба, шлам, пористость, газопроницаемость, эффективное давление.

By the example of rocks presented with monomineral quartz sandstones (the horizon BD-9) experimentally justified boundary conditions and opportunities of simulation of loose rocks born as sand and slurry. Extreme of watersaturation, at which phase gas permeability approaches to zero accounts for 62 %. Porosity of consolidated rocks and destroyed test they turned out practically identical (18–18,1 %), and for gas permeability definitions it is necessary to apply parameter reducing scaled 4,5.

Key words: rock-collector, sample, destroyed test, slurry, porosity, gas permeability, effective pressure.

Досвід проведення досліджень слабозцементованих і сипучих порід-колекторів [1–3] свідчить про те, що одержати інформацію про їх літолого-петрофізичні властивості у багатьох випадках неможливо, оскільки вони руйнуються у процесі буріння свердловин і виносяться на поверхню у вигляді шламу та піску. Руйнування слабозцементованого керна часто відбувається також під час виготовлення з нього циліндрів та насичення їх пластовою водою.

Відсутність наукового та методичного обґрунтування досліджень слабозцементованих і крихких порід-колекторів унеможливило достовірну інтерпретацію даних ГДС і відповідно прогнозування їх колекторських властивостей на нових перспективних площах. Сказане, зокрема, стосується безпосередньо глинистих порід-колекторів, які поширені у відкладах сарматського ярусу, залягають на глибинах 500–1400 м і до складу яких входять такі породоутворюючі мінеральні фази, як монтморилоніт і гідроліт [4].

Ущільнення є одним із основних процесів, що визначає зміну петрофізичних властивостей осадових порід під час їх формування. Багато дослідників у різних аспектах вивчало закономірності цих змін. Зокрема, для різних нафтогазоносних областей було побудовано криві ущільнення [5–7]. Відомі також залежності ущільнення від глибини, пористості та інших властивостей для піщано-алевритових порід-колекторів. Окремі наукові праці присвячено вивченню вторинних перетворень в осадових породах у процесі їх формування. Також вивчався вплив на гравітаційне ущільнення по відношенню до глибини максимального занурення, аномального пластового тиску, температури, геологічного віку [8, 9]. Однак ущільнення як фізичний процес вивчено меншою мірою.

Експериментальне обґрунтування методу моделювання фізичних властивостей слабозцементованих порід-колекторів здійснив О.М. Верховський [10]. Він виділив дві умови адекватності фізичного моделювання слабозцементованих порід:

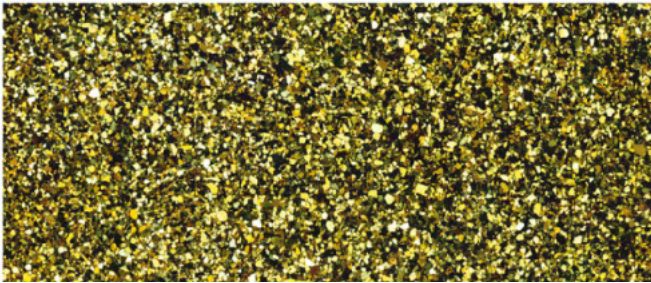


Рис. 1 Св. 14-Дубаневичі, зразок 39. Вісь керна орієнтована горизонтально. Загальний вигляд породи. У цілому текстура, розмірність уламкових зерен, мінеральний склад та розподіл цементуючої маси виглядають рівномірними та однорідними. Разом із тим у центральній частині (дещо зміщеній вліво) проглядаються елементи слабо проявленої плямистої текстури у вигляді ледь помітних «згустків» і ледь помітної похилої смуги, що примикає зліва

збереження упродовж усього геологічного часу існування порід дискретних характеристик мінеральних зерен, що входять до складу цих порід;

відтворюваність щільності упаковки і просторової орієнтації зерен.

Використання першої умови впливає з аналізу геолого-геохімічних змін у породах під час їх моделювання. Виконання другої умови можливе у разі відтворення (реконструкції) умов гравітаційного ущільнення порід, а саме: первинної щільності зерен, величини тиску ущільнення, швидкості деформації, граничних умов і типу флюїдонасичення.

Об'єктом досліджень були пісковики, відібрані із св. 14-Дубаневичі, (горизонт НД-9). Визначені пористість (у поверхневих і пластових умовах) та абсолютна газопроникність (у пластових умовах) становлять відповідно 18,9, 18,1 % і 12,9 мД.

Методика досліджень

Після проведення повного комплексу петрофізичного вивчення стандартного зразка (циліндра) залишки керна руйнували під тиском, після чого окремі його фрагменти подрібнювали до зернистого стану. Отриману пробу при температурі 105 °С просушували у термічній шафі до постійної маси. Після цього шляхом квартування формували пробу, яка за своєю масою відповідала б масі сухого циліндричного зразка. Сформовану зернисту пробу засипали у кернотримач, у якому створювався ефективний тиск $P_{\text{еф}}$, який ступеневно змінювався у межах від 25 до 400 кгс/см². На кожному ступені $P_{\text{еф}}$ вимірювали абсолютну газопроникність за умов перепаду тиску між входом і виходом ($\Delta P = 0,24$ кгс/см²).

Після першого етапу експерименту ущільнену пробу вилучали з кернотримача і знову висушували у дезінтегрованому стані до постійної маси при температурі 105 °С, повторно засипали у кернотримач, де на неї створювали гідрообтискання у 25 кгс/см². До верхнього штока керноприймача під'єднували капіляр об'ємом 5 см³, запо-

внений пластовою водою з мінералізацією 50 г/л, питомим електричним опором $\rho_v = 0,15$ Ом·м і питомою вагою 1,035 г/см³. Шляхом капілярного просочення у часі визначали відкриту пористість дезінтегрованої проби. Після появи води на виході отвору нижнього штока останній перекривали запірним вентилем. За величиною об'єму увібраної води V_v і об'ємом проби $V_{\text{пр}}$ (при $P_{\text{еф}} = 25$ кгс/см²) визначали величину K_p у поверхневих умовах за співвідношенням $V_v/V_{\text{пр}}$, яка становила 18,7 %. Отримане значення практично не відрізняється від такого для природного зразка (18,9 %).

Літолого-петрографічне вивчення порід у шліфах

Порода (рис. 1) представлена алевритистими дрібнозернистими рівномірнозернистими мономінеральними (мономітковими) кварцевими пісковиками з незначною (<5 %) домішкою середньопсамітових (0,25–0,5 мм) та поодиноких крупнопсамітових (0,5–1,0 мм) уламкових зерен, апоглинисто-(кремнисто-хлорит-слюдиисто-гідрослюдиаста асоціація)карбонатним плівково-поровим цементом та поровим типом пустотного простору.

Текстура масивна, однорідна. Структура породи дрібнопсамітова до алевро-псамітової.

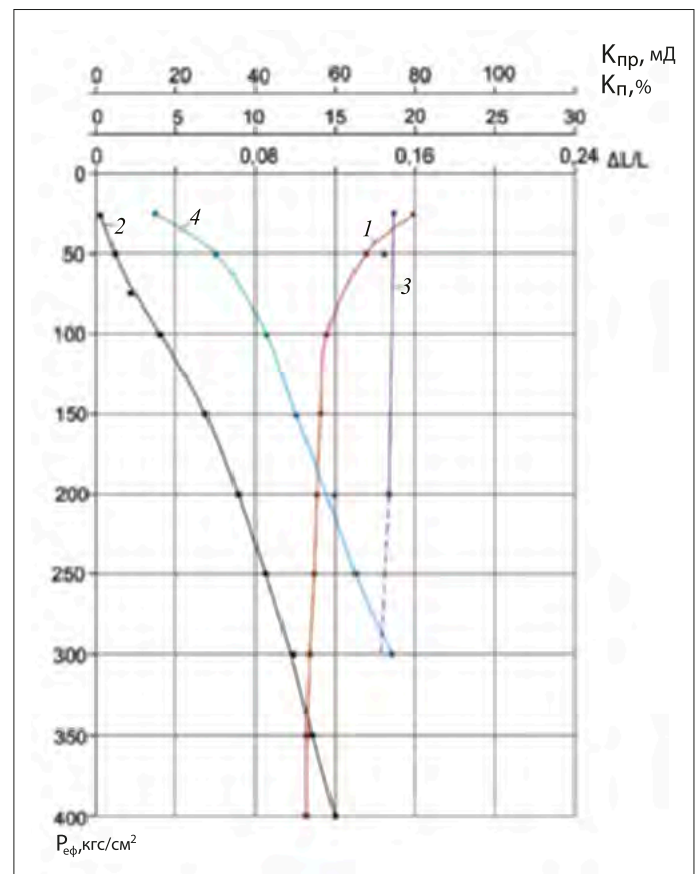


Рис. 2. Залежність проникності (1) та відносної зміни довжини (2) дезінтегрованого сухого зразка і залежність пористості (3) та відносної зміни довжини (4) дезінтегрованого зразка, насиченого пластовою водою мінералізацією 50 г/л, від ефективного тиску

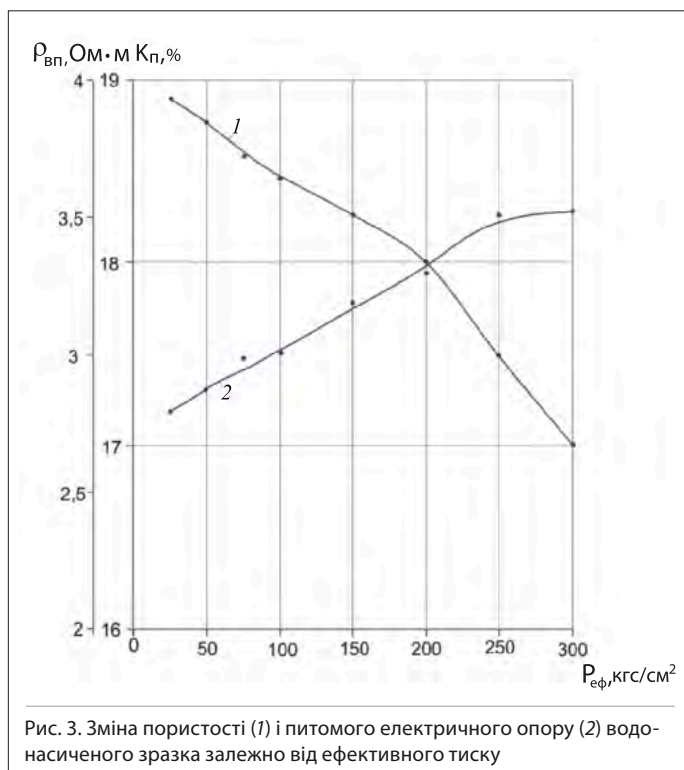


Рис. 3. Зміна пористості (1) і питомого електричного опору (2) водонасиченого зразка залежно від ефективного тиску

Мінеральний склад уламкової частини породи

Серед мінералів уламків визначено кварц, кварцитоподібні уламки (поодинокі зерна), халцедон, альбіт (поодинокі зерна), карбонат, глауконіт, циркон. За винятком глауконіту, усі визначені мінерали відносять до алотигенних.

Зерна кварцу у кількісному відношенні виконують роль породоутворюючого компонента, в об'ємі уламкової частини їх кількість становить не менше 95 %. Вони характеризуються різним ступенем окатаності та належать до різних класів розмірності (гранулометричних класів).

Кварцитоподібні уламки та халцедон відносять до дрібнопсамітової-алевритової фракції.

Характеристика цементуючої маси породи

За співвідношенням зерен і цементу в породі і взаємним розташуванням цих компонентів розрізняють два текстурні типи:

поровий (відбувається повне або часткове заповнення проміжків між сусідніми уламками);

плівковий (його значно менше). Цей тип цементу у вигляді суцільної або переривчастої плівки оточує зерна. Загальна кількість цементу від об'єму породи не перевищує 20 %.

Пустотний простір

Представлений виключно поровим типом. Морфологія (конфігурація) пор визначається взаємним розташуванням уламкових зерен різної або близької розмірності та ступенем заповнення міжзернових проміжків цементуючою масою. Форма пор різноманітна: кутувата, округла, видовжена або неправильна. Переважний розмір пор змінюється

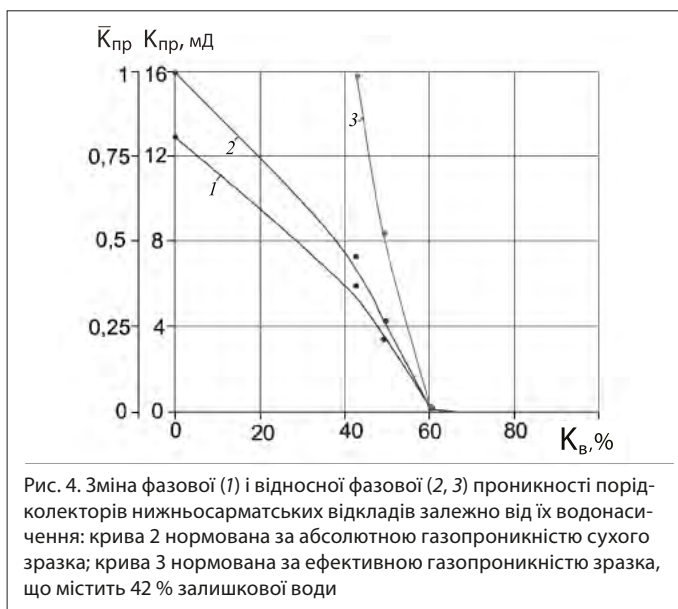


Рис. 4. Зміна фазової (1) і відносної фазової (2, 3) проникності порідколекторів нижньосарматських відкладів залежно від їх водонасичення; крива 2 нормована за абсолютною газопроникністю сухого зразка; крива 3 нормована за ефективною газопроникністю зразка, що містить 42 % залишкової води

ся в межах від 50 до 100 мкм. Разом з тим зустрічаємо пори більшого або меншого (до 10 мкм) розміру.

Незважаючи на значну кількість пор, їх загальна площа в площині шліфа, вирізаного вздовж осі керна, не перевищує 18 %.

Серед пор зустрічаємо майже виключно ізольовані, з'єднувальних каналів майже не спостерігаємо. Густота розташування також не передбачає сполучень між сусідніми порами.

За походженням пори первинні (седиментогенні). У процесі діагенетичних перетворень (ущільнення породи) за рахунок утворення аутигенного глауконіту та кристалізації кальциту відбувалося зменшення об'єму пустотного простору та їх ізольованість. Не виключено, що з'єднувальні міжпорові канали були закупорені новоутвореними мінералами.

Дослідження пористості та електричних властивостей водонасичених порід (типових зразків пісковиків, див. рис. 2 та 3) засвідчило про таке: за ефективного тиску від 25 кгс/см² пористість становила 18,8 %, при $P_{\text{эф}}$ – до 200 кгс/см² відкрита пористість монотонно зменшується від 18,8 до 18 %, а потім до ефективного тиску 300 кгс/см² стрімко спадає до 17 %.

При цьому питомий електричний опір повністю водонасиченої породи віддзеркалює електричні властивості і зростає від 2,8 (при $P_{\text{эф}} = 25$ кгс/см²) до 3,5 Ом·м (при $P_{\text{эф}} = 300$ кгс/см²).

За водонасичення порід близько 62 % фазова (відносна фазова) газопроникність наближається до нуля (рис. 4). Її потрібно вважати граничною під час виділення колекторів у розрізі за даними ГДС для описаного літотипу порід. При цьому порода має такі структурні особливості: на частку субкапілярних пор (радіусом менше 0,5 мкм) припадає 42 %, вони заповнені залишковою водою, тобто участі у фільтрації газу не беруть; частка капілярних пор (радіусом 0,5–2,4 мкм) становить 46 %; ре-

шта 12 % – це надкапілярні пори радіусом 2,4–100 мкм. Отже, ефективний поровий об'єм формують надкапілярні і капілярні пори, що у нашому випадку становлять 58 % від загального об'єму пор.

Вивчення фільтраційних властивостей того ж дезінтегрованого зразка засвідчило, що його фазова проникність залежить від часу ущільнення і змінюється від 4,3 до 1 мД (за ефективного тиску $P_{\text{эф}} = 300 \text{ кгс/см}^2$) протягом 12 діб. Спостерігається така тенденція зміни абсолютної газопроникності дезінтегрованого сухого зразка: за ефективного тиску $P_{\text{эф}} = 25 \text{ кгс/см}^2$ проникність до $P_{\text{эф}} = 100 \text{ кгс/см}^2$ стрімко падає з 79,8 до 58 мД, а потім монотонно знижується до 52 мД (за ефективного тиску $P_{\text{эф}} = 400 \text{ кгс/см}^2$). При цьому відносна довжина зразка $\Delta L/L$ змінюється до 0,12. Пористість дезінтегрованої проби падає з 18,8 до 18 % (при $P_{\text{эф}} = 200 \text{ кгс/см}^2$), тобто за цим показником властивості змодельованої дезінтегрованої проби і порід-колекторів у природних пластових умовах залягання ідентичні.

Відносна зміна довжини дезінтегрованої породи, насиченої моделлю пластової води мінералізацією 50 г/л, за рахунок зменшення сил тертя стрімко зростає від 0,03 до 0,15 відносно довжини зразка. Щодо абсолютної газопроникності, то за цим показником фільтраційні властивості дезінтегрованої проби виявилися завищеними в 4,5 раза порівняно з цим параметром, визначеним на природному зразку керна.

Висновок

Отже, зазначену відносну величину необхідно приймати за перерахунковий показник під час дослідження фільтраційних властивостей на пробах шлама для вивченого літотипу порід у сарматських відкладах (горизонт НД-9).

Список літератури

1. **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.

2. **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.

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

4. **Федишин В.О.** Низкопористі породи-колектори газу промислового значення: монографія / В.О. Федишин. – К.: УкрДГРІ, 2005. – 148 с.

5. **Магара К.** Уплотнение пород и миграция флюидов. Прикладная геология нефти / К. Магара. – Пер. с англ. – М.: Недра, 1982. – 296 с.

6. **Мухин Ю.В.** Процессы уплотнения глинистых осадков / Ю.В. Мухин. – М.: Недра, 1965. – 200 с.

7. **Вассоевич Н.Б.** Опыт построения типовой кривой гравитационного уплотнения глинистых осадков / Н.Б. Вассоевич // Новости нефтяной техники. – 1960. – № 4. – С. 11–15. – (сер. Геология).

8. **Добрынин В.М.** Деформация и изменения физических свойств коллекторов нефти и газа / В.М. Добрынин. – М.: Недра, 1970. – 239 с.

9. **Комаров В.М.** Влияние геологического возраста и глубины залегания на коллекторские свойства песчаных пород / В.М. Комаров, Д.В. Постников // Докл. АН СССР. – 1964. – Т. 159. – № 1. – С. 106–109.

10. **Верховский А.М.** Методика и результаты комплексных петрофизических исследований слабосцементированных пород-колекторов на примере Западной Сибири: дис. на соискание ученой степени кандидата технических наук / А.М. Верховский. – Тюмень, 1986. – 214 с.

НОВІ КНИГИ



У 2014 р. видавництво «Центр Європи» випустило книгу авторів М.М. Поліника, В.М. Ясюка і Р.С. Яремійчука «Колтюбінг в нафтогазовидобуванні». Книга носить довідковий характер і разом із тим служить цінним посібником для вивчення і застосування колтюбінгових технологій у процесах буріння та експлуатації нафтових і газових свердловин. У ній детально описано обладнання для роботи гнучкими трубами, основні типи колтюбінгових установок та свердловинні інструменти, які використовуються в цих технологіях. Значну увагу приділено власне колоні гнучких труб: матеріалам та технології їх виготовлення, механічним властивостям, проектуванню та експлуатації гнучких труб. Детально описано світовий досвід використання колтюбінгових технологій.

Оскільки колтюбінгові технології в Україні почали запроваджувати тільки з 2001 р., для фахівців галузі книга стане цінним посібником для розроблення і широкого застосування інноваційних технологій, які базуються на використанні гнучких труб.