

ЕЛЕКТРОКІНЕТИЧНІ ЯВИЩА ПРИ БУРІННІ ТА ЕКСПЛУАТАЦІЇ
НАФТОГАЗОВИХ СВЕРДЛОВИН

В умовах необхідності збільшення видобутку вуглеводнів гостро постає питання зменшення витрат на буріння та експлуатаційне обслуговування нафтогазових свердловин. На теперішній час одним з факторів підвищення комерційної вартості буріння є зростання часу подолання наслідків ускладнень та аварій, що виникають під час буріння свердловин на нафту та газ. Серед зазначених ускладнень та аварій чільне місце посідають прихоплення бурильного інструменту, серед яких в залежності від природи виникнення виділяють декілька видів: під дією перепаду між гідростатичним тиском стовпа бурового розчину та гірським тиском; унаслідок осипання гірських порід; через утворення сальників на поверхні бурильних труб [1] та ін. Серед чинників виникнення прихоплення одним з головних є негативний вплив бурового розчину на гірські породи. Проблеми регулювання реологічних властивостей бурового розчину та хімічного впливу його фільтрату на гірські породи присвячено значну кількість робіт, але електрокінетичні процеси, що перебігають при бурінні та експлуатації свердловин, потребують більш детального дослідження оскільки відомо, що однією з причин утворення глинистого сальнику на металевій поверхні бурильних труб може бути електрофорез глинистих частинок та вибуреного шламу до металевої поверхні [2]. Ще одним з електрокінетичних процесів при фільтрації рідини у поруватих та проникних породах під дією перепаду тиску є виникнення потенціалу течії. Відзначимо, що при бурінні свердловин для попередження газопроводів завжди існує перепад між гідростатичним тиском стовпа бурового розчину та пластовим тиском гірських порід, тому при розбурюванні проникних гірських порід неминуче відбувається фільтрація бурового розчину, який за своєю природою є дисперсним розчином, дисперсійним середовищем якого у більшості випадків є вода. Таким чином, у проникних гірських породах виникає потенціал протікання. При потраплянні у пори фільтрат бурового розчину взаємодіє з гірськими породами, що призводить до їх набухання, осипання та зменшення колекторських властивостей нафтогазового пласта, тому умовою успішного буріння свердловин є мінімізація кількості фільтрату бурового розчину у проникних породах. Поставленої мети можна досягти впливом на електрокінетичні процеси, зокрема, на потенціал протікання. З іншого боку, при експлуатації нафтогазових свердловин для збільшення їх дебіту необхідно навпаки поліпшувати фільтраційні властивості пласта, що можна реалізовувати зменшенням потенціалів протікання. Отже визначення механізму впливу на потенціал протікання і керування електрокінетичними процесами є доволі актуальним завданням, що і зумовило мету дослідження.

За класичними уявленнями при протіканні немінералізованої води під сталим тиском через пору ваті діафрагму потенціал протікання E не залежить від площі та товщини діафрагми і об'єму перенесеної води, тому пропорційний лише прикладеному тиску, а кількісний зв'язок між E і фізико-хімічними властивостями взаємодіючих фаз для водних розчинів у капілярі описується відомим рівнянням Гельмгольца-Смолуховського [3]:

$$E = \frac{\Delta p D \xi}{4\pi\eta\lambda}, \quad (1)$$

де Δp – перепад тиску на кінцях капіляра; D – діелектрична проникність середовища; ξ – електрокінетичний потенціал; η – в'язкість середовища; λ – питома електропровідність середовища.

Рівняння (1) є досить наближеним та прийнятним для капілярів відносно великого розміру, а оскільки проникні породи можна уявити як «жорстку» гетерокапілярну діафрагму з досить приблизно визначеною структурою [4] то (1) потребує уточнення. Відомо, що при радіусах пор менше за 1 мкм спостерігається зменшення значень потенціалу течії, причинами якого є, по-перше, відмінність у в'язкості та діелектричності вільної рідини та рідини у порах діафрагми, а, по-друге, рівняння (1) не враховує поверхневу провідність та електроосмотичний протитік рідини. Зазначимо, що (1) отримано для ламінарного потоку рідини, а виникнення турбулентності буде порушувати достовірність розрахунків. Порушення ламінарності течії у капілярах виникає не тільки за рахунок перевищення припустимої межі тиску, а і через зміну фізичних властивостей рідини – виникнення в'язкопластичності. З урахуванням вищевикладеного найбільш достовірною є запропоноване у [5] рівняння, яке враховує, принаймні, поверхневу провідність:

$$E = \frac{\Delta p D \xi}{4\pi\eta(\lambda_{ov} + \lambda_s)}, \quad (2)$$

де λ_{ov} – об’ємна питома електропровідність рідини; λ_s – поверхнева питома електропровідність рідини.

Для визначення потенціалу протікання зазвичай використовують електрохімічну комірку з двома відділеннями – робочим та індикаторним, які розділяють скляною діафрагмою з відомою поруватістю. Через діафрагму перепускали досліджувану рідину (у даному випадку – модель фільтрату бурового розчину). Потенціал протікання фіксували мультиметром як різницю потенціалів між двома хлоридсрібними електродами, зануреними безпосередньо обабіч діафрагми [6]. Використання стандартних хлоридсрібних електродів порівняння не дає змоги підтримувати в них тиск, рівнозначний тиску в електрохімічній комірці, що знижує відтворюваність результатів. Для усунення цього недоліку використовували експериментальні твердофазові електроди, працездатні в широкому інтервалі тиску [7], який до і після діафрагми підтримували за рахунок гідростатичного тиску стовпа рідини і варіювали в межах від 50 до 200 мм. вод. ст.

Встановлено, що при пропусканні технічної води через скляну діафрагму з поруватістю на рівні 100 мкм при зміні гідростатичного тиску отримано майже лінійну залежність потенціалу протікання від тиску (рис. 1), що відповідає класичним уявленням. Але додавання таких солей, як хлориди лужних металів, зокрема NaCl і KCl, призводить до зменшення товщини подвійного електричного шару, принаймні його дифузної складової, що і зумовлює зменшення потенціалу протікання.

Характер залежності зміни потенціалу протікання від концентрації розчину хлориду натрію (рис. 2) з урахуванням збільшення в’язкості розчину зі зростанням концентрації надає можливість визначити склад розчину, в якому потенціал протікання і в’язкість будуть мінімальними. Саме такі розчини потрібні для законтурного витіснення вуглеводнів з нафтогазових пластів, що будуть чинити якомога менший гідродинамічний опір при їх закачуванні.

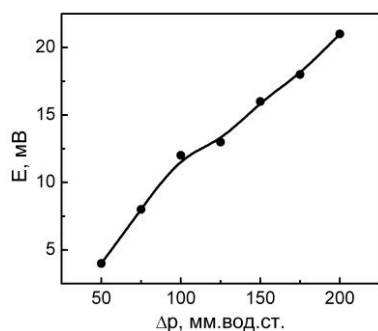


Рисунок 1 – Залежність потенціалу протікання технічної води від тиску

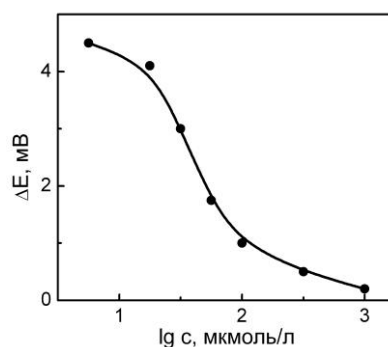


Рисунок 2 – Залежність зміни потенціалу протікання від концентрації NaCl

В межах прийнятності закону Дарсі потенціал E можна надати через швидкість фільтрації з використанням такої характеристики діафрагми, як її проникність K , та пов'язати зі швидкістю фільтрації v_ϕ

$$v_\phi = \frac{4\pi\eta EK\rho_{ж}(\lambda_{ov} + \lambda_s)}{D\xi}, \quad (3)$$

де $\rho_{ж}$ – питома густина рідини.

Наведене рівняння дає змогу не тільки розрахувати швидкість фільтрації для проникних порід, але і встановити шляхи впливу на цей процес, зокрема, в напрямку зменшення фільтрації рідини. Це є особливо актуальним для перешкоджання фільтрації бурового розчину у проникні гірські породи. В такому випадку швидкість фільтрації буде пропорційна питомій електропровідності і обернено пропорційною до діелектричної проникності та електрокінетичного потенціалу. Слід зазначити, що питома електропровідність має більший вплив, у порівнянні з діелектричною проникністю, наприклад, якщо порівнювати ці величини для електроліту та бензину $D_{ел}/D_{бенз} = 80/2 = 40$, а $\lambda_{бенз}/\lambda_{ел} = 10^{-12}/0,013 = 10^{10}$. Неабиякий вплив має і електрокінетичний потенціал ξ , тому актуальною є можливість впливу на його значення, і навіть на знак, що досягається за рахунок введення ПАР до складу електролітів та зміною рН середовища [8]. Так, при зміні рН середовища, що досягалось додаванням HCl та KOH, отримано залежності (рис. 3), аналіз яких свідчить про екстремальний характер зв'язку між E та рН.

Такий висновок можна розповсюдити на процедуру оптимізації рН, при якому значення потенціалу протікання буде максимальним, у даному випадку в межах 6,5–11, що в свою чергу призводить до зменшення швидкості фільтрації у проникні породи.

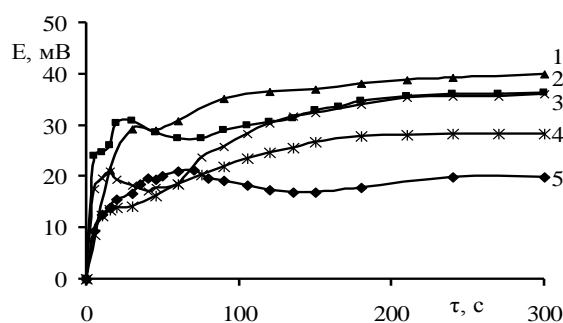


Рисунок 3 – Хронограми потенціалу протікання при рН розчину 8,6 (1); 6,1 (2); 11,3 (3); 13,2 (4); 3,5 (5)

Таким чином, при виконанні роботи вдалось з'ясувати принципову можливість впливу електрохімічних характеристик бурового розчину на швидкість його фільтрації до проникних гірських порід. Потенціал течії може бути непрямою ознакою швидкості фільтрації, тому за рахунок фізичного моделювання системи «фільтрат бурового розчину – проникні гірські породи» та вимірювання потенціалу протікання можна оптимізувати склад фільтрату і бурового розчину, при якому швидкість фільтрації буде мінімальною. Із застосуванням запропонованої методики можна також визначати склад рідин для законтурного заводнення, при якому їх фільтрація у проникних породах буде максимальною.

Література

1. Мислюк М.А. Буріння свердловин / М.А. Мислюк, І.Й. Рибчин, Р.С. Яремійчук. – К.: Наукова думка, 2004. – 376 с.
2. Сахненко М.Д. Роль електрокінетичних явищ при виникненні ускладнень та аварій під час буріння нафтогазових свердловин / М.Д. Сахненко, Р.О. Шевченко // Вісник НТУ «ХПІ». – 2010. – № 30. – С. 195–199.
3. Григоров О.Н. Электрокинетические явления / О.Н. Григоров. – Л.: ЛГУ, 1973. – 199 с.
4. Духин С.С. Электропроводность и электрокинетические свойства дисперсных систем / С.С. Духин. – К.: Наукова думка, 1975. – 246 с.
5. Касимзаде М.С. Электрокинетические преобразователи информации / М.С. Касимзаде, Р.Ф. Халилов, А.Н. Балашов. – М.: Энергия, 1973. – 136 с.
6. Revil A. Characterization of transport properties of argillaceous sediments: Application to the Callovo-Oxfordian argillite / A.Revil, P.Lerov, K.Titov // J.Geophys. Res. – Vol.110. – 2005.
7. Похмурський В.І. Методи електрохімічних досліджень металів у високотемпературних водних середовищах / Похмурський В.І., Антошак І.М. – Львів: СПОЛОМ, 2010. – 152 с.
8. Фролов Ю.Г. Курс коллоидной химии / Ю.Г. Фролов. – М.: Химия, 1982. – 400 с.

УДК 622.248

Сахненко Н.Д., Шевченко Р.А.

ЭЛЕКТРОКИНЕТИЧЕСКИЕ ЯВЛЕНИЯ ПРИ БУРЕНИИ И ЭКСПЛУАТАЦИИ НЕФТЕГАЗОВЫХ СКВАЖИН

Рассмотрено возникновение потенциалов течения при фильтрации бурового раствора в проницаемых породах. Установлена зависимость потенциала течения от приложенного давления, состава и pH пропускаемого раствора (модели фильтрата бурового раствора)

Sakhnenko N.D., Shevchenko R.A.

ELECTROKINETIC'S PHENOMENA UNDER OIL-GAS'S WELL DRILLING AND EXPLOITATION

We consider the emergence of potential flow for filtration of drilling fluid into permeable rocks. The dependence of streaming potential on the applied pressure, composition and pH of the transmitted solution (model mud filtrate).