

## ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ КОНТРОЛЮ ЯКОСТІ ТЕХНОЛОГІЧНИХ РІДИН ЕЛЕКТРОКІНЕТИЧНИМ МЕТОДОМ

© Козак О.Ф., Климишин Я.Д., 2007

*Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу*

***Наведені результати досліджень впливу перепаду тиску рідини, складу бінарної суміші рідин на зміну потенціалу протікання при проходженні цих рідин через пористу скляну перегородку і скляний капіляр в умовах ізотермічності процесу***

Висока продуктивність та ефективність процесів видобування, підготовки до транспортування і безпосередньо транспортування вуглеводнів (газу, стабілізованого конденсату, нафти тощо) передбачає відповідну якість різноманітних технологічних рідин. Тому актуальним залишається питання контролю якості (складу, домішок, у т. ч. шкідливих) зазначених технологічних рідин як при зборі та обробці продукції на промислах, головних спорудах, компресорних і насосних станціях, так і, що є більш важливим, в процесі їх використання.

Аналіз опублікованих даних [1, 2] та результати виконаних авторами досліджень [3] показали перспективність використання електрокінетичних явищ, зокрема, потенціалу протікання для експрес-контролю якості технологічних рідин [4].

Метою даного дослідження є експериментальне встановлення характеру зв'язків між зміною потенціалу протікання рідини і перепадом тиску, температури, питомої електропровідності, *pH* та іонного складу рідини. Для розв'язання поставленої задачі була розроблена методика проведення експериментальних досліджень та два експериментальні стенди для виконання дослідів (рис. 1, 2).

Суть методики експериментальних досліджень наступна.

Зміна потенціалу протікання формувалась при протіканні досліджуваної рідини через пористу перегородку або капіляр. Внаслідок гідравлічного опору перегородки при русі потоку виникає перепад тиску до і після перегородки, а між шарами рідини безпосередньо у вхідному та вихідному перерізах індукується різниця потенціалів. Різниця потенціалів вимірювалася платиновими електродами та мультиметром з великим внутрішнім опором моделі ИТ-70А. У кожному досліді фіксували і враховували при обробці результатів початкову різницю потенціалів між електродами при нульовому перепаді тиску на перегородці, що завжди існувала в нерухомій рідині завдяки електродним процесам.

Як пориста перегородка використовувався стандартний скляний хімічний фільтр згідно ГОСТу 9775-69 типу ФКП товщиною 3 мм, діаметром 24мм. Коефіцієнт пористості перегородки, визначений експериментальним шляхом [5, 6], становив 0,35. Були також проведені порівняльні з перегородкою досліди на скляному капілярі з діаметром каналу 0,73 мм і довжиною 70 мм.

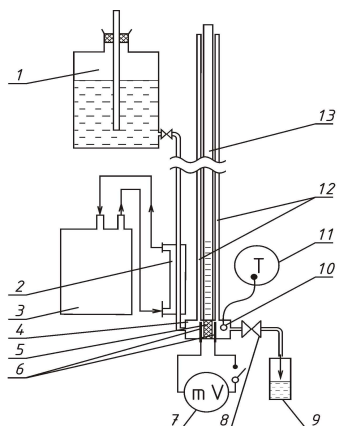
Протікання досліджуваної рідини та відповідно перепад тиску на перегородці створювалися за допомогою посудини Маріотта і шестеренним насосом.

Перепад тиску потоку, що рухався через перегородку, визначався за допомогою двох п'єзометричних трубок і мірної лінійки з ціною поділки 1 мм. Витрата досліджуваної рідини вимірювалася об'ємним методом за допомогою стандартних мірних мензурок та секундоміра моделі С-1-2а „Агат”.

Температура потоку рідини вимірювалася з максимальною похибкою  $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$  платино-родієвою термопарою з вторинним приладом моделі М890G, або стандартними ртутними термометрами. Стабільність температури потоку забезпечувалась ультратермостатом моделі Unit.

Стабільність режиму потоку досліджуваної рідини при конкретній її витраті оцінювалася візуально за стабільністю перепаду рівнів рідини в п'єзометричних трубках і температури рідини. При досягненні зазначених умов тричі фіксували покази мультиметра, рівні рідини в п'єзометричних трубках, температуру рідини та її об'ємну витрату. В ході обробки результатів дослідів використовували середні значення зафіксованих показників.

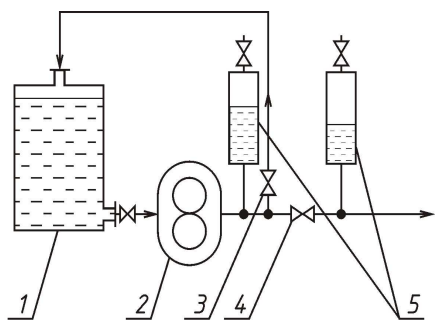
Експериментальний стенд із посудиною Маріотта (рис. 1), який забезпечував стабільність висоти стовпа досліджуваної рідини — рушійної сили потоку, змонтований на вертикальних стійках висотою 3 м. Це дозволило створювати та змінювати перепад тиску рідини при протіканні її через вимірну камеру 4 до двох метрів.



1 - посудина Маріотта; 2 - теплообмінник; 3 - термостат; 4 - камера вимірна;  
5 - перегородка пориста; 6 - електроди; 7 - мілівольтметр; 8 - вентиль;  
9 - збірник мірний; 10 - термопара; 11 - прилад вторинний;  
12 - трубки пізетричні; 13 - лінійка мірна

Рис. 1. Схема експериментального стенда з дослідження потенціалу протікання

На іншому експериментальному стенді (рис. 2) подачу досліджуваної рідини з підвищеною в'язкістю з посудини 1 до вимірної камери 4 (рис. 1) забезпечували шестеренним насосом 2 із керованим електроприводом. Регулювання витрати рідини здійснювали шляхом зміни частоти обертання привідного вала насоса з використанням схеми байпасування частини потоку через вентиль 3 до посудини 1. Коливання подачі рідини згладжувалися демпферами-ресиверами 5, причому останній з них розташовувався безпосередньо перед теплообмінником 2 (рис. 1). Решта елементів даного експериментального стенда ідентична до аналогічних елементів стенда, приведеного на рис. 1.



1 - посудина; 2 - насос шестеренний; 3, 4 - вентилі;  
5 - демпфери-ресивери

Рис. 2. Фрагмент схеми експериментального стенда щодо дослідження потенціалу протікання (з шестеренним насосом)

Для виключення втрати генерованої різниці потенціалів протікання в описаних вище експериментальних стендах усі канали та вентилі,

через які здійснювався рух досліджуваної рідини, були виготовлені з діелектриків – скла і полімерних матеріалів.

Досліди проводилися за викладеною вище методикою наступним чином. Досліджувана рідина з посудини Маріотта 1 (рис. 1) або насосом 2 (рис. 2) через теплообмінник "труба в трубі" 2 (рис. 1) подавалася до циліндричної за формою вимірної камери 4. У міжтрубному просторі теплообмінника 2 циркулював за допомогою насоса термостата 3 теплоносій із сталюю для кожного конкретного досліджуваного температури.

При протіканні досліджуваної рідини через скляну пористу перегородку 5 чи капіляр генерувалася різниця потенціалів протікання, яку вимірювали платиновими електродами 6 з цифровим мультиметром 7.

Подачу рідини регулювали вентилем 8 та визначали її об'ємним методом за допомогою мірного збірника 9 і секундоміра.

При незмінній температурі рідини досліди розпочинали за мінімальної її витрати, що дозволяло достовірно вимірювати як перепад тиску на перегородці 5, так і різницю потенціалів протікання з наступним інтервальним збільшенням витрати до досягнення найбільшого перепаду тиску.

Нижче наведені узагальнені результати досліджень щодо впливу перепаду тиску рідини, складу бінарної рідинної суміші на зміну потенціалу протікання при протіканні останньої через пористу скляну перегородку та скляний капіляр за умови ізотермічності процесу. Досліди виконані на дистильованій воді та розчинах етилового спирту (етанолу  $C_2H_5OH$ ) у дистильованій воді з об'ємним вмістом 1 – 5 %. Етанол порівняно з водою має значно меншу полярність, що підвищує точність визначення впливу складу цих компонентів суміші на зміну потенціалу протікання.

У дослідах із скляною перегородкою витрати дистильованої води та розчину етанолу у воді складали  $(0,058 \div 0,465) \cdot 10^{-6} \text{ м}^3/\text{с}$ . У дослідах із капіляром витрати цих рідин змінювалися в межах від  $0,24 \cdot 10^{-6}$  до  $1,47 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3/\text{с}$ . Температура потоку становила  $20^\circ\text{C}$ .

На рис. 3, 4 наведені залежності  $\Delta\phi = f(\Delta P)$  для дистильованої води, а на рис. 5, 6 – для 5%-го розчину етанолу в дистильованій воді. Дослідні дані апроксимуються рівнянням прямої лінії

$$\Delta\phi = a \cdot \Delta P + b, \quad (1)$$

де  $a, b$  — експериментальні коефіцієнти, що наведені разом з коефіцієнтом кореляції  $R^2$  в табл. 1.

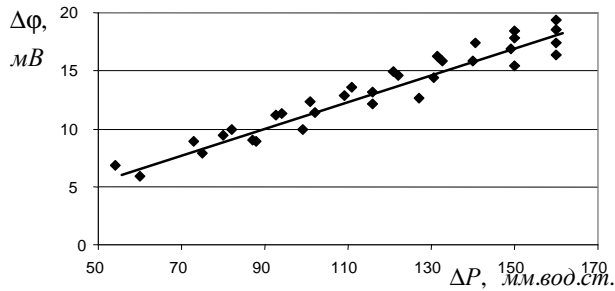


Рис.3. Залежність зміни потенціалу протікання дистильованої води  $\Delta\phi$  від перепаду тиску  $\Delta P$  на пористій перегородці

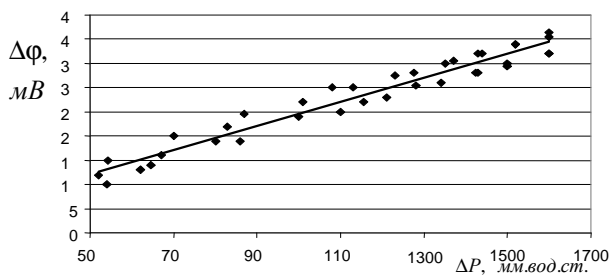


Рис.4. Залежність зміни потенціалу протікання дистильованої води  $\Delta\phi$  від перепаду тиску  $\Delta P$  на капілярі

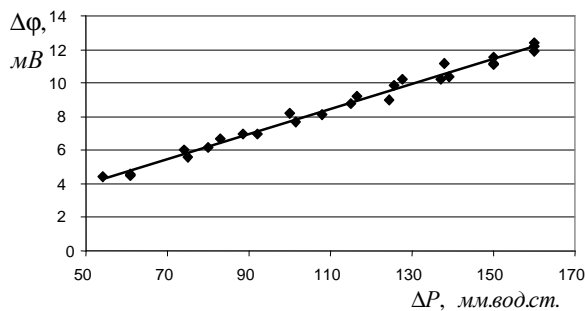


Рис.5. Залежність зміни потенціалу протікання 5%-ного розчину етилового спирту у воді  $\Delta\phi$  від перепаду тиску  $\Delta P$  на пористій перегородці

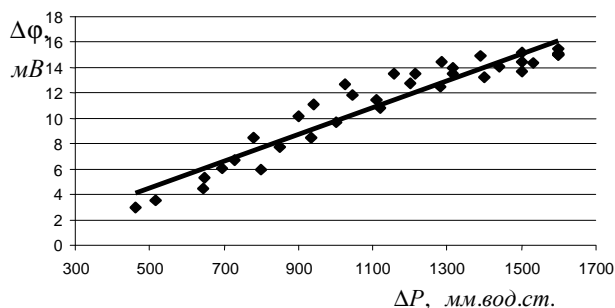


Рис.6. Залежність зміни потенціалу протікання 5%-ного розчину етилового спирту у воді  $\Delta\phi$  від перепаду тиску  $\Delta P$  на капілярі

Таблиця 1 – Експериментальні значення коефіцієнтів  $a$ ,  $b$ ,  $R^2$  до рівняння (1)

№ рисунка	$a$	$b$	$R^2$
3	0,1147	-0,4579	0,9301
4	0,0248	-0,2633	0,9492
5	0,0744	2,7556	0,9865
6	0,0105	-0,7292	0,9053

Лінійний характер  $\Delta\phi = f(\Delta P)$  корелюється з даними роботи [2], що засвідчує надійність одержаних результатів.

Порівняння коефіцієнтів  $a$ ,  $b$  рівняння (1) для однієї і тієї ж рідини дозволяє стверджувати, що пориста скляна перегородка чинить більший вплив на зміну потенціалу протікання, ніж скляний капіляр за умови однакових перепадів тиску. Тобто використана в даному випадку пориста перегородка має вищу генеруючу здатність щодо електричних зарядів. Можна припустити наявність позитивного впливу пор перегородки значно меншого прохідного перерізу для потоку рідини та більшої поверхні контакту потоку із стінками порових каналів порівняно з прямим каналом капіляра.

При протіканні через пористу перегородку чи капіляр 5%-го розчину етанолу в дистильованій воді зменшується кут нахилу прямої згідно рівняння (1) порівняно з потоком дистильованої води. Ця відмінність у значеннях коефіцієнта  $a$  рівняння (1) для рис. 3, 5 і рис. 4, 6 складає 35,1% та 57,7% відповідно, де за 100% прийнято значення коефіцієнта  $a$  в рівняннях для дистильованої води. При концентрації етанолу 1 та 3 % експериментальні значення коефіцієнта  $a$  дорівнюють 0,1073 і 0,0902 відповідно у дослідях з перегородкою. Даний факт переконливо засвідчує залежність зміни потенціалу протікання від складу дослідженого бінарного розчину.

Фізичний механізм встановленої залежності ймовірно слід ґрунтувати головним чином, що попередньо прогнозувалось, на відмінній полярності компонентів дослідженої суміші. Так, діелектрична проникність води – як найбільш вживана характеристика полярності, складає 78,3 порівняно з 24,3 для етанолу. Дипольними моментами ці рідини відрізняються в меншій мірі:  $6,17 \cdot 10^{-30}$  Кл·м для води і  $5,67 \cdot 10^{-30}$  Кл·м для етанолу [7].

На основі аналізу виконаних дослідів можна зробити наступні висновки.

Має місце достатня чутливість методу для реалізації зворотної задачі — за значенням різниці потенціалу протікання можна кількісно оцінити склад розчину різнополярних рідин.

Більшу точність методу забезпечує пориста перегородка, хоча це вимагає попереднього ретельного фільтрування досліджуваної рідини.

Встановлено лінійну залежність зміни потенціалу протікання від перепаду тиску потоку на перегородці чи капілярі, що може бути використано при синтезі математичної моделі методу.

Створені експериментальні стенди придатні для дослідження технологічних рідин різних виробничих процесів.

1. D.A. Everett. *Basic Principles of Colloid Science*. — London: Royal Society of Chemistry, 1989. 2. D. Erickson, D. Li. *Streaming Potential and Streaming Current Methods for Characterizing Heterogeneous Solid Surfaces*//*Journal of Colloid and Interface Science*. — 2001. — V. 237. — P. 283 — 289. 3. Козак О.Ф.,

Карпаш О.М. *Розробка методів експрес-контролю складу технологічних рідин* / Зб. наук. проць „Фізичні методи та засоби контролю середовищ, матеріалів та виробів. — Львів, 2006. — Вип. 11. — С.213-216. 4. Левич В.Г. *Физико-химическая гидродинамика. Издание 2-е, дополненное и переработанное* — М.: Государственное издательство физико-математической литературы, 1959. 5. А. Адамсон. *Физическая химия поверхностей*. — М.: Мир, 1979. 6. Гиматудинов Ш.К., Ширковский А.И. *Физика нефтяного и газового пласта*. — М.: "Недра", 1982. 7. А. Гордон, Р. Форд. *Спутник химика: Пер. с англ.* — М.: Мир, 1976.