

УДК 621.317

## ЕЛЕКТРОКІНЕТИЧНІ ЯВИЩА В ПРОЦЕСІ ВИДОБУТКУ НАФТИ І ГАЗУ

© Кісіль І. С., Храпач І. М., 2000

Івано-Франківський державний технічний університет нафти і газу

**Розглянуто методи вимірювання електрокінетичного потенціалу, проаналізовано їх переваги та недоліки, проведено аналіз одержаних результатів вимірювань.**

В процесі видобутку нафти і газу мають місце фази з різними властивостями – рідка (нафта і газовий конденсат), тверда (гірська порода) і газоподібна (пластовий газ). При їх контактуванні на границі розділу виникають електрокінетичні явища, причиною чого є наявність подвійного електричного шару [1]. Згідно з теорією Штерна область біля поверхні поділяється на дві частини, одна з яких складається з іонів, адсорбованих на поверхні і які утворюють внутрішній щільний шар, а друга відповідає дифузійному шару Гуі. Фізична модель подвійного шару а також зміна електричного потенціалу з відстанню від поверхні породи в першому наближенні зображена на рис. 1.

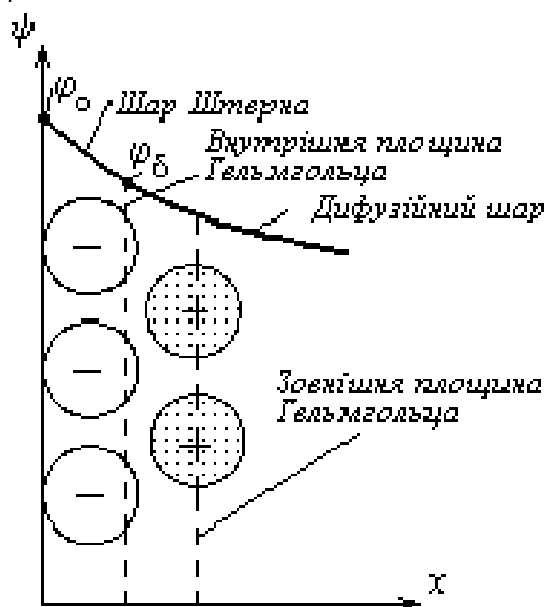


Рис. 1. Графічна модель подвійного шару.

Наявність електрокінетичного потенціалу гальмує відносний рух фаз, тобто спричиняє додатковий опір руху однієї із фаз (рідкої або газоподібної) в поровому просторі твердої фази.

Величиною, що кількісно характеризує вплив

електрокінетичних явищ, є електрокінетичний потенціал – дзета-потенціал ( $\zeta$ -потенціал), який не залежить від швидкості руху фаз. Величина гальмуючого впливу може бути однозначно визначена таким чином [1]:

$$Q = \frac{\pi \Delta p r^4}{8 \eta l} \left( 1 - \frac{(D \zeta)^2}{0.75 (D \zeta)^2 + 6 \pi^2 \eta \chi r} \right), \quad (1)$$

де  $Q$  – реальна витрата рідкої чи газоподібної фази в капілярі довжиною  $l$ ;  $\Delta p$  – перепад тиску між кінцями капіляру;  $r$  – радіус капіляру;  $\eta$  – в'язкість рухомої фази;  $D$  – діелектрична проникність рідкої фази;  $\chi$  – величина, обернена до товщини подвійного шару.

Дзета-потенціал — це потенціал, що виникає на площині ковзання при відриві частини дифузійного шару. Його можна розглядати як різницю потенціалів в практично однорідному середовищі між точкою на деякій відстані від поверхні і точкою на площині зсуву. Площина ковзання може знаходитись на різній відстані від міжфазної поверхні. Ця відстань залежить від швидкості руху фаз, в'язкості середовища, природи фаз та інших факторів.

Таким чином, для визначення величини впливу електрокінетичних явищ необхідно вимірювати електрокінетичний потенціал.

Для безпосереднього вимірювання  $\zeta$  - потенціалу необхідно вимірювати напругу між фіксованими точками, причому координати цих точок можна визначити приблизно для конкретної пари контактуючих поверхонь. Що стосується нафти, то це зробити взагалі ускладнено. З іншого боку, утворене таким чином джерело енергії має досить великий внутрішній опір і для точного вимірювання значення  $\zeta$  - потенціалу потрібно вводити електроди значної площі і застосовувати вольтметр з вхідним опором, що прямує до нескінченності. В першому випадку виникає необхідність того, щоб форма електродів точно повторювала форму подвійного шару, але при цьому не впливала на нього, що неможливо, оскільки електроди виготовляються з електропровідного матеріалу. Виготовлення же вищевказаного вольт-

метра також пов'язане з певними технічними складнощами.

Усе сказане дає змогу стверджувати, що виміряти  $\zeta$ -потенціал методом прямих вимірювань з достатньою точністю є практично неможливо і цей метод в найкращому випадку можна використовувати тільки для порівняння значень потенціалів декількох зразків.

Вимірювання електрокінетичного потенціалу слід виконувати посередніми методами, тобто вимірювати значення деяких інших величин, які пов'язані з ним певними математичними залежностями. Такими величинами є електроосмотичний струм і швидкість, електрофоретична рухомість, потенціали протікання та седиментації.

Для визначення  $\zeta$ -потенціалу методом вимірювання електроосмотичної швидкості потрібно на установці, зображеній на рис. 2, задати значення струму в колі електродів і виміряти швидкість переміщення рідини в капілярі.

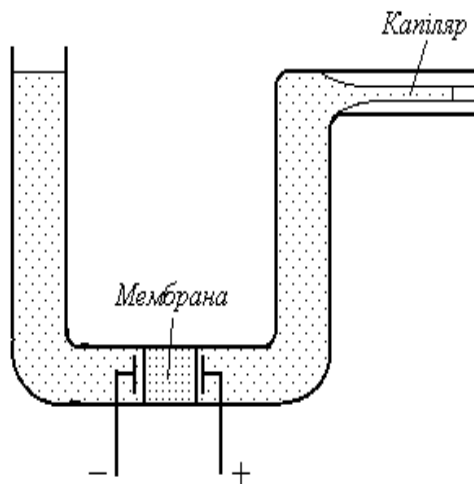


Рис. 2. Установка для визначення  $\zeta$ -потенціалу шляхом вимірювання електроосмотичної швидкості.

Електрокінетичний потенціал тоді можна розрахувати за такою залежністю [2]:

$$\zeta = \frac{\eta \lambda v}{\varepsilon_0 \varepsilon \cdot I}, \quad (2)$$

де  $\lambda$  – товщина подвійного шару,  $v$  – швидкість руху частинок,  $I$  – струм через установку.

Перевагою цього методу є те, що значення струмів можна задавати з достатньою точністю. Крім того, вимірювання швидкості переміщення рідини у капілярі також не викликає складностей. Але суттєвим недоліком методу є вплив струму на властивості речовин і точно розрахований  $\zeta$ -потенціал може мати хибне значення через змінені властивості, характер змін яких важко передбачити.

Вимірювання  $\zeta$ -потенціалу методом електро-

форетичної рухомості пов'язаний з необхідністю вимірювання швидкості руху великих частинок. Це можливо, головним чином, при використанні ЕОМ шляхом обчислення автокореляційної функції для двох зображень (фотографій) капіляру, по якому рухаються частинки. Оскільки рух є досить повільним, то в цьому випадку можна допустити, що рух рідини буде ламінарним і частинки будуть рухатись досить прямолінійно.

Вимірювання  $\zeta$ -потенціалу методом потенціалу седиментації потребує визначення напруженості електричного поля між двома електродами, що в реальних системах зробити досить складно, оскільки частинки завжди полідисперсні, а їх форма відрізняється від сферичної. Крім того, відповідно відрізняється від реальної частинна концентрація дисперсної системи. Ці твердження говорять про неможливість точного визначення  $\zeta$ -потенціалу цим методом.

Визначення  $\zeta$ -потенціалу методом потенціалу протікання потребує точного задавання тиску в трубі і вимірювання напруги між електродами на установці, зображеній на рис. 3.

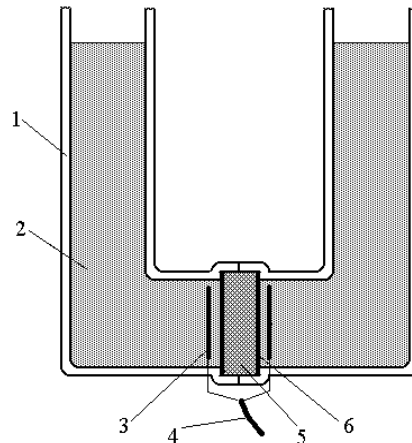


Рис. 3. Будова давача потенціалу протікання.

Аналогічно методу прямих вимірювань одержане джерело енергії матиме великий внутрішній опір, але на відміну від нього, зменшувати опір можна шляхом збільшення площі мембрани, роль якої в даному випадку відіграє зразок гірської породи. Крім того, на відміну від електроосмотичного методу, при використанні цього методу результати не спотворюються прикладеним електричним полем оскільки останнє відсутнє.

Електрокінетичний потенціал при цьому розраховується за наступною залежністю [2]:

$$\zeta = \frac{\eta \lambda U}{\varepsilon_0 \varepsilon \cdot \Delta p}, \quad (3)$$

де  $U$  – напруга між електродами.

Таким чином, аналіз можливих методів вимі-

рювання  $\zeta$ -потенціалу вказує на перевагу електроосмотичного методу та методу потенціалу протікання, але перевагу слід надавати останньому оскільки, як вказувалось раніше, він є більш точним.

Для вимірювання електрокінетичного потенціалу методом вимірювання потенціалу протікання було розроблено і виготовлено макет установки. Корпус складається з двох частин, між якими розміщується досліджувана порода, поміщена у пористі прокладки з хімічно нейтрального діелектрика, які вільно пропускають рідину, але утримують гірську породу. Електроди розташовуються поряд із зразком породи. Це сприяє зменшенню внутрішнього опору установки як джерела енергії, що збільшує точність вимірювання. Електроди розташовані на одній висоті для запобігання впливу потенціалу седиментації, що може утворитися при осадженні нерозчинних компонентів досліджуваної рідини. Макет підключався до іонометра типу ЭВ-74, що використовувався як вольтметр з діапазоном вимірювання напруги до 2 В і вхідним опором не менше  $10^{10}$  Ом. Аналізуючи одержані результати можна стверджувати, що при застосуванні цього методу можливо вимірювати потенціал протікання. Однак було виявлено постійну присутність в результатах різниці потенціалів між електродами навіть при відсутності протікання, причиною якої може бути практично будь-яка неоднорідність частин установки, наприклад, різна форма, площа електродів, різна концентрація мінеральних речовин тощо. Цей факт настановує на необхідність вимірювання не безпосередньо потенціалу протікання при деякому визначеному тиску, а на вимірювання зміни потенціалу при деякій зміні тиску. Найоптимальнішим при цьому є використання ЕОМ для автоматизації процесу вимірювання. Іншою причиною появи аддитивної складової при вимірюванні напруги є наявність електромагнітних полів, що можуть індукувати значні паразитні змінні напруги, які, попадаючи на вхід попереднього підсилювача вольтметра внаслідок нелінійності останнього поза межами робочого діапазону, спричиняють випрямлення струму і появу додаткової аддитивної складової.

З рівняння (3), вважаючи постійним електрокі-

нетичний потенціал, слідє, що напруга протікання  $U$  є прямопропорційною різниці тисків у колінах установки, а це означає, що при нульовій різниці тисків напруга протікання також дорівнює нулю. Це зумовлює використання нульового тиску з метою вимірювання постійної складової вимірюваного потенціалу протікання. Тоді формула розрахунку електрокінетичного потенціалу (3) приймає вигляд:

$$\zeta = \frac{\eta\lambda(U-U_0)}{\varepsilon_0\varepsilon\Delta p}, \quad (4)$$

де  $U_0$  – вимірний потенціал протікання при нульовому різницевого тиску.

Проаналізувавши сутність і причини виникнення електрокінетичних явищ можна стверджувати, що в процесі нафтогазовидобутку вони дійсно мають місце, оскільки є рух рідкої фази (нафти або газового конденсату) відносно твердої (гірська порода) і при цьому як рідка, так і тверда фази не є достатньо добрими провідниками електричного струму.

Наявність електрокінетичних явищ спричиняє виникнення електрогідралічного опору рухові рідини. Величина цього опору залежить від багатьох факторів, головним з яких є природа контактуючих речовин. Тому може статися, що в одних випадках дія електрокінетичних явищ буде суттєвою, а в інших їхньому впливу практично не спостерігається. Наприклад, в значно мінералізованих породах при наявності вологи дисоціація розчинних солей спричиняє значне збільшення електричної провідності і, відповідно, зменшення електрокінетичного потенціалу, від якого залежить величина гальмування. Оцінку впливу електрокінетичних явищ потрібно проводити шляхом експериментального вимірювання  $\zeta$ -потенціалу для конкретної комбінації зразків гірської породи газу і газового конденсату, оскільки як порода, так і нафта чи газовий конденсат представляють собою речовини з різними властивостями і передбачити результуюче значення  $\zeta$ -потенціалу з достатньою точністю практично неможливо.

1. Адамсон А. *Физическая химия поверхностей: Пер. с англ.* — М.: Мир, 1979. 2. Фролов Ю. Г. *Курс коллоидной химии.* — М.: Химия, 1982.