

чування є визначальним чинником, що впливає на перебіг процесу за умови руху рідини в системі під дією тільки капілярних сил. У разі додаткової дії зовнішнього перепаду тиску вплив крайового кута змочування зменшується. Вплив ефекту Жамена на перебіг процесу витіснення потребує введення додаткового чинника для його врахування.

1. Бодник А.А. Створення імітаційної моделі витіснення рідин у пористому тілі з урахуванням поверх-

невих сил // Методи та прилади контролю якості. 1997. № 1. С. 59-63. 2. Чураев Н.В. Физико-химия процессов массопереноса в пористых телах. М., 1990. 3. Anthony M. Shwartz, Charles A. Rader, Elaine Huey Resistance to flow in capillary systems of positive contact angle // Advanced in chemistry series. 1964. Vol.43. P.250-267. 4. T. D. Blake, J. M. Haynes Contact angle Hysteresis // Progress in surface and membrane science. 1973. Vol.6. 5. Clarence A. Miller Stability of Interfaces // Surface and Colloid Science. 1978. Vol.10. P.227-293.

УДК 532.61

ВПЛИВ КОЕФІЦІЄНТА ЗБІЛЬШЕННЯ ОПТИЧНОЇ СИСТЕМИ НА РЕЗУЛЬТАТИ ВИМІРЮВАННЯ МІЖФАЗНОГО НАТЯГУ МЕТОДОМ ОБЕРТОВОЇ КРАПЛІ

© Кісіль Р.І., 1998

Івано-Франківський державний технічний університет нафти і газу

Наведений метрологічний аналіз впливу коефіцієнта збільшення оптичної системи M приладів, які реалізують методику Воннегута визначення міжфазного натягу методом обертової краплі. Вказані граничні значення співвідношень між внутрішнім і зовнішніми радіусами обертового капіляра, а також радіуса обертової краплі.

Найпростішою з погляду технічної реалізації і найточнішою модифікацією вимірювання міжфазного натягу (МН) методом обертової краплі є методика Воннегута [1]. Умовою застосування цієї методики є те, що в процесі вимірювання максимальна довжина обертової краплі $2x_0$ повинна бути не менше ніж у 4 рази більшою за її дійсний максимальний діаметр $2y_0$. Цю умову досить легко виконати при низьких значеннях M ($\sigma \leq 1$ мН/м), оскільки в цьому разі крапля витягується вздовж осі капіляра в циліндр із заокругленими кінцями при низьких швидкостях обертання капіляра ($\omega \leq 300$ рад/с). При цьому МН σ визначають за такою формулою Воннегута, де враховується коефіцієнт збільшення оптичної системи M

$$\sigma = \frac{\Delta\rho \cdot \omega^2}{4} \cdot \left(\frac{y}{M}\right)^3, \quad (1)$$

де $\Delta\rho$ - різниця густин досліджуваних фаз, кг/м³; ω - кутова швидкість обертання капіляра із досліджуваними рідинами, рад/с; y - вимірний максимальний радіус обертової краплі, м.

Згідно з (1) на точність визначення σ , крім похибок визначення $\Delta\rho$ і вимірювання ω і y , суттєво впливає похибка визначення M , оскільки величина M входить в (1) у третій степені.

Перед тим, як проаналізувати вплив похибок результатів визначення M на σ необхідно відмітити, що визначення σ методом обертової краплі є посереднім вимірюванням з однократними спостереженнями відповідних аргументів. Це зумовлено тим, що значення ω і y постійно змінюються в процесі вимірювання внаслідок зміни в часі міжфазного натягу на границі поділу досліджуваних рідин.

Згідно з методикою визначення похибок посередніх вимірювань при однократних спостереженнях аргументів розраховують часткові похідні функції по кожному із вимірюваних аргументів [2]. Ці часткові похідні можна розглядати як складові сумарної похибки вимірювання значення σ . Оскільки функція σ задана степеневим одночленом, то відносна похибка визначення σ в цьому разі лінійно виражається через суму відносних похибок аргументів, помножених на їх степеневі показники в одночлені [2], тобто

$$\varepsilon(\sigma) = b_1 \cdot \varepsilon(\Delta\rho) + b_2 \cdot \varepsilon(\omega) + b_3 \cdot \varepsilon(y) + b_4 \cdot \varepsilon(M), \quad (2)$$

де b_1, \dots, b_4 - степеневі показники кожного із аргументів у (1); $\varepsilon(x_i)$ - відносні похибки вимірювання кожного із аргументів x_i .

Отже, згідно з (2) похибка визначення M буде в три рази суттєвіше впливати на похибку визначення σ порівняно з похибкою вимірювання

Др. Оскільки аргумент y стоїть в рівнянні (1) також у третій степені, то вплив його похибки вимірювання на результат визначення σ буде аналогічним. Звідси для забезпечення похибки результату вимірювання σ в межах до 1,5 % за умови, що похибки $\varepsilon(x_i)$ є приблизно однаковими, необхідно, щоб відносні похибки визначення M і y не перевищували 0,17 %.

У рівнянні (1) відношення y/M – це найбільший дійсний радіус обертової краплі y_0 . Безпосереднє вимірювання y_0 в скляному капілярі, заповненому досліджуваними рідинами, є неможливим без врахування коефіцієнта збільшення оптичної системи M , який виникає внаслідок проходження світлових променів через циліндричний капіляр. Вказана оптична система – це сукупність таких елементів: скляний капіляр, рідина більшої густини ρ_2 , крапля рідини меншої густини ρ_1 , і газ, що оточує капіляр ззовні (повітря). Переріз капіляра із досліджуваними рідинами показано на рис.1. При проходженні світлового променя через цю оптичну систему внаслідок заломлення

світлових променів на поверхнях розділу повітря-скло і скло-рідина за рахунок різних абсолютних показників заломлення цих середовищ відбувається вищевказане оптичне збільшення дійсного радіуса краплі.

Коефіцієнт M можна визначати різними методами. Деякі дослідники для знаходження M використовують калібри відомого радіуса, які встановлюють у досліджувану рідину 2 в капілярі 1. Зокрема, Паттерсон [3] застосовував конусоподібний калібр із шкалою на ньому. По відношенню між виміряним радіусом калібру і відомим його значенням визначають M . Фінк і Хірн [4] для визначення M використовували циліндричні металеві калібри відомих діаметрів. Маннінг і Скрівен [5] застосовували пустотілі циліндри малої густини, які самоцентруються всередині обертового капіляра. Перевагою останнього методу є те, що вимірювання діаметра такого капіляра проводиться в умовах, аналогічних до умов вимірювання діаметра обертової краплі. Каяс [6] експериментально довів, що для систем з водяними розчинами коефіцієнт збільшення M дорівнює 1,332.

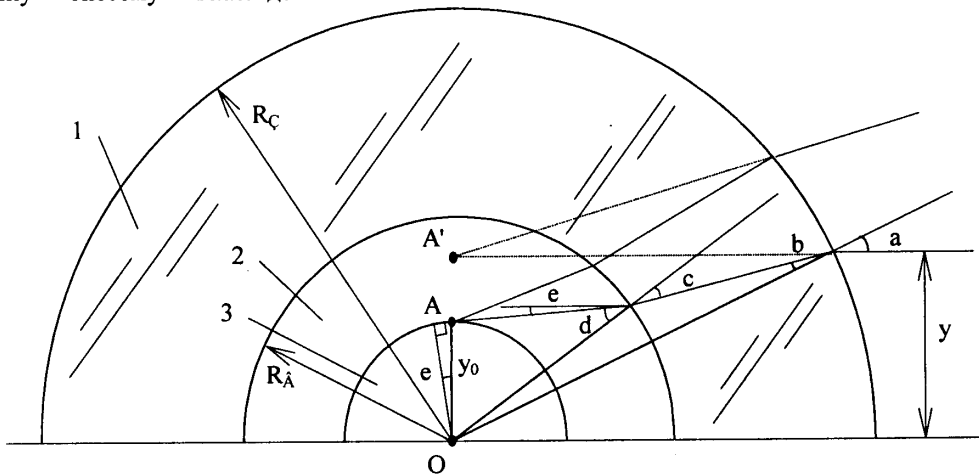


Рис.1. Поперечний переріз капіляра в процесі обертання і проходження світлових променів у ньому: 1 - капіляр; 2 - досліджувана рідина більшої густини; 3 - рідина меншої густини.

З метою знаходження аналітичного виразу для M з урахуванням параметрів оптичної системи проаналізуємо хід променів у цій системі, які виходять з вершини обертової краплі (т. А, рис.1). Зображення вершини краплі (т. А', рис.1) буде знаходитися в точці перетину продовження будь-яких двох променів, що виходять з вершини краплі і після заломлення на поверхнях розділу рідина-скло і скло-повітря виходять назовні капіляра [7]. Для спрощення знаходження цієї точки перетину променів приймемо до уваги промінь, що виходить з

капіляра паралельно до горизонтальної осі. Інший промінь, що виходить назовні капіляра з вершини краплі, перетинатиме вказаний вище горизонтальний промінь у т. А', що знаходиться на відстані y над центром краплі (т. О). Відстань від точки перетину цих променів до центру краплі і буде виміряним радіусом краплі y , який буде більшим від дійсного радіуса y_0 .

Згідно з тригонометричними і оптичними законами маємо (рис.1)

$$y = \sin a \cdot R_3; \quad (3)$$

$$\sin a / \sin b = n_c / n_{\text{пов}}; \quad (4)$$

$$\sin b / \sin c = R_3 / R_B; \quad (5)$$

$$\sin d / \sin c = n_c / n_p; \quad (6)$$

$$e = a - b + c - d; \quad (7)$$

$$y_0 = R_B \cdot \sin d / \cos e, \quad (8)$$

де R_3 і R_B відповідно зовнішній і внутрішній радіуси капіляра; n_c , n_p і $n_{\text{пов}}$ відповідно абсолютні показники заломлення скла капіляра 1, рідини 2 всередині капіляра і повітря ззовні капіляра.

Звідси можна визначити, що коефіцієнт збільшення оптичної системи M буде таким:

$$M = y / y_0 = n_p / n_{\text{пов}} \cdot \cos e. \quad (9)$$

Оскільки кут e обчислюють за допомогою формул (3) - (7), то це дає змогу стверджувати, що коефіцієнт M залежить від дійсного діаметра краплі, від внутрішнього і зовнішнього діаметрів

капіляра, від властивостей більш важчої досліджуваної рідини, скла і повітря.

Нами був проведений аналіз зміни коефіцієнта збільшення оптичної системи M від геометричних розмірів краплі при різних співвідношеннях R_B / R_3 для $0,3 \leq R_B / R_3 \leq 0,8$.

З результатів такого аналізу, які зображені на рис.2, видно, що для капілярів, в яких $R_B / R_3 \leq 0,3$ коефіцієнт збільшення оптичної системи майже не буде змінюватися залежно від радіуса краплі і дорівнюватиме відносному показникові заломлення рідини відносно повітря, тобто $M = n = n_p / n_{\text{пов}}$. У разі, коли $0,3 < R_B / R_3 \leq 0,5$ відхилення M від значення n не буде перевищувати 0,006 при $y_0 / R_3 < 0,8$. Для випадку $0,5 < R_B / R_3 \leq 0,8$ вказане відхилення M зростає і вже при $y_0 / R_3 = 0,6$ може становити 0,023.

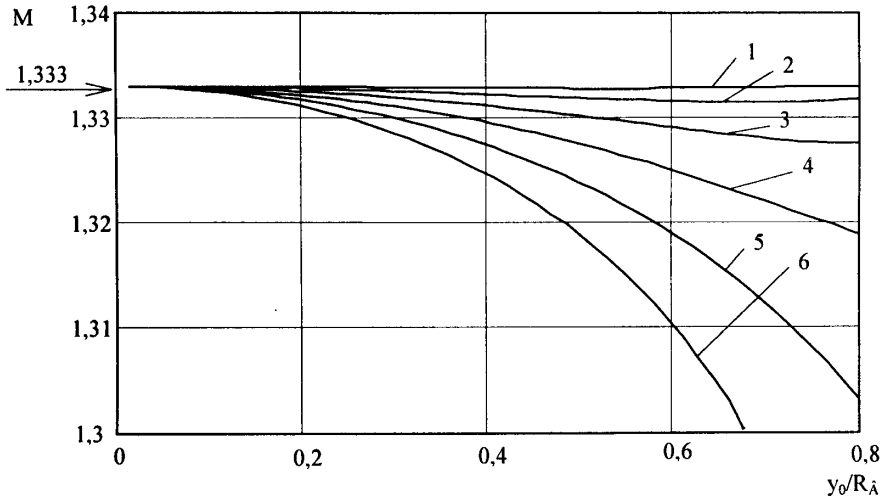


Рис.2. Графік зміни M залежно від геометричних розмірів краплі:

1 - $R_B / R_3 = 0,3$; 2 - $R_B / R_3 = 0,4$; 3 - $R_B / R_3 = 0,5$; 4 - $R_B / R_3 = 0,6$; 5 - $R_B / R_3 = 0,7$; 6 - $R_B / R_3 = 0,8$.

Тому для спрощення процесу вимірювання σ і скорочення його тривалості необхідно користуватися однією із наступних умов: $R_B / R_3 \leq 0,5$ і $y_0 / R_3 < 0,5$; або $R_B / R_3 \leq 0,3$ при $y_0 / R_3 \leq 0,8$. При виконанні таких умов необхідно буде лише один раз виміряти M або прийняти його таким, що дорівнює n для всього діапазону y_0 / R_3 від 0 до 0,8.

Необхідно зазначити, що умова $y_0 / R_3 < 0,5$ виконується для значень $\sigma \leq 1$ мН/м і $\omega \leq 300$ рад/с, що в більшості випадків має місце при вимірюванні МН методом обертової краплі.

1. Кісіль Р.І. Метрологічний аналіз різних модифікацій визначення міжфазного натягу методом обертової

краплі //Методи і прилади контролю якості. 1997. № 1. С.70-74. 2. Грановский В.А., Сирая Т.Н. Методы обработки экспериментальных данных при измерениях. Л., 1990. 3. Patterson H.T., Hu K.H., Grindstaff T.H. Measurement of Interfacial and Surface Tensions in Polymer Systems //J. Polymer Sci.: Part C. 1971. N 35. P.31-43. 4. Fink T.R., Hearn D.P. Multicell Spinning Drop Interfacial Tensiometer //Rev. Sci. Instrum. 1978. Vol.49. N 2. P.188-193. 5. Manning C.D., Scriven L.E. On Interfacial Tension Measurement with a Spinning Drop in Gyrostatic Equilibrium //Rev. Sci. Instrum. 1977. Vol.48. N 12. P.1699-1705. 6. Cayias J.L., Schechter R.S., Wade W.H. The Measurement of Low Interfacial Tension via the Spinning Drop Technique, Adsorption at Interfaces, Symposium Series //American Chemical Society. 1975. N 8. P.234. 7. Яворский Б.М., Детлаф А.А. Справочник по физике. М., 1977.