

ВИМІРЮВАННЯ ФІЗИКО-ХІМІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ РЕЧОВИН

УДК 622.276

ВИМІРЮВАННЯ ГЕОМЕТРИЧНИХ РОЗМІРІВ ОБЕРТОВОЇ КРАПЛІ ЗА ДОПОМОГОЮ ТЕЛЕВІЗІЙНОЇ СИСТЕМИ КОНТРОЛЮ

© Кісіль Р. І., 2000

Івано-Франківський державний технічний університет нафти і газу

© Порєв Г. В., 2000

НТУУ "Київський політехнічний інститут"

Описано програмно-технічний комплекс для вимірювання міжфазного натягу методом обертової краплі з використанням фотодіодної камери. Приведений алгоритм адаптивного пошуку контурів краплі з використанням вказаного комплексу і опис відповідного програмного забезпечення.

Згідно із удосконаленою методикою визначення міжфазного натягу σ [1] необхідно здійснювати вимірювання розмірів обертової краплі не в одному напрямку, а у двох: потрібно визначати як довжину краплі, так і її видимий діаметр у двох перерізах (максимальний видимий діаметр обертової краплі і діаметр краплі у перерізі, що розміщений на фіксованій віддалі від краю краплі). Завдяки цьому удосконалена методика визначення міжфазного натягу (МН) позбувається необхідності попереднього визначення коефіцієнта збільшення оптичної системи M , який має місце при проходженні світлових променів через капіляр із досліджуваними рідинами. Тому виникає необхідність вимірювати не лише максимальний видимий діаметр обертової краплі, а й проводити вимірювання інших її геометричних розмірів.

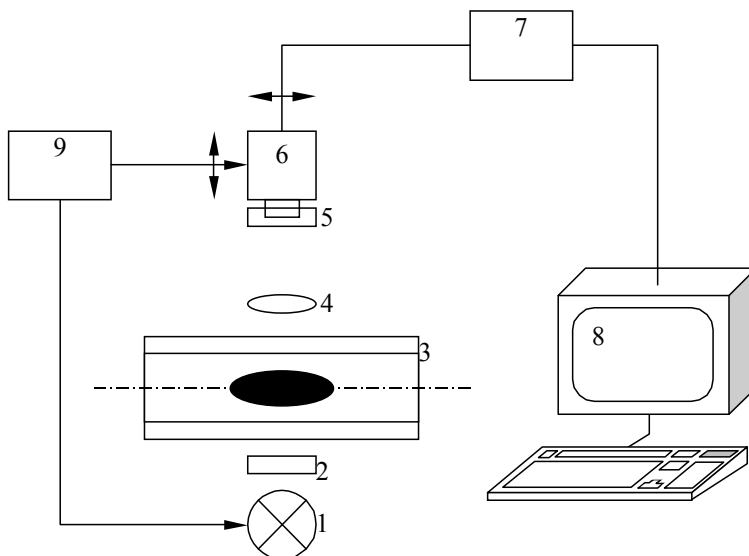
У приладі ВМН-1М, що реалізує методику Воннегута, вимірювання максимального видимого діаметру обертової краплі здійснюється за допомогою мікроскопу МБС-10. Мікроскоп встановлено на платформі, що переміщується перпендикулярно осі обертання капіляру. Коли хрестовина лімба мікроскопа попадає на границю краплі, яка обертається горизонтально, починається відлік переміщення. Далі мікроскоп переміщують до другого краю краплі і вимірюють переміщення мікроскопу разом із платформою за допомогою відповідного індуктивного давача. Хоча індуктивний давач величини переміщення має похибку вимірювання ± 1 мкм, мікроскоп має похибку вимірювання ± 9 мкм. Це пов'язано з тим, що вимірювання проводяться на максимальному збільшенні мікроскопа $\times 56$. При

такому збільшенні ціна поділки шкали лімба становить 18 мкм. Звідси похибка вимірювання не є меншою від ± 9 мкм (половина поділки).

При вимірюванні геометричних розмірів краплі за допомогою вказаного вище методу багатьох дослідників не задовольняє вказана вище похибка вимірювання діаметра обертової краплі. Крім того, необхідно, щоб вимірювання розмірів обертової краплі у строго визначених один відносно іншого перерізах проводилися в один і той самий момент часу. Це пов'язано з тим, що крапля в процесі вимірювання її розмірів може переміщуватися вздовж осі капіляру, в якому вона розміщена. Тому для проведення вимірювання необхідно мати фіксоване зображення обертової краплі, з якого можна отримати всі необхідні розміри.

Саме для вирішення такої задачі можна вдало використати телевізійні системи контролю (ТСК) [2]. За допомогою ТСК можна сформувати цифрове зображення краплі, а потім, користуючись відповідним програмним забезпеченням, визначити усі необхідні її розміри. Застосування ТСК для вимірювання МН надає такі переваги при здійсненні вимірювань: можливість спостереження на моніторі за обертовою краплею у процесі вимірювання її розмірів, висока точність вимірювання геометричних розмірів обертової краплі, автоматизація процесу визначення МН σ , можливість визначення динамічного МН, накопичення бази даних цифрових зображень обертової краплі.

Структурна схема програмно-технічного комплексу (ПТК) з використанням ТСК, який пропонується для вимірювання МН, зображена на рис. 1.



1 — імпульсне джерело світла, 2 — оптичний фільтр, 3 — капіляр, 4 — мікрооб'єктив, 5 — світлоелектричний перетворювач, 6 — телевізійна камера, 7 — пристрій введення відеосигналу в комп'ютер, 8 — комп'ютер, 9 — вузол переміщення.

Рис. 1. Структурна схема програмно-технічного комплексу для вимірювання міжфазного натягу.

Потік випромінювання від імпульсного джерела 1 проходить послідовно оптичний фільтр 2 і капіляр 3, в якому знаходяться досліджувані рідини. Мікрооб'єктив 4 формує зображення краплі в чутливій площині світлоелектричного перетворювача (СЕП) 5 телевізійної камери 6. Сформований в камері 6 відеосигнал подається через пристрій введення відеосигналу 7 в комп'ютер 8.

Оскільки крапля в капілярі 3 з різних причин може рухатися вздовж осі, то вона може виходити з поля зору СЕП. Для уникнення цього використовується вузол переміщення 9 джерела 1 і камери 6. Для проведення вимірювань геометричних розмірів обертової краплі необхідно переміщувати в процесі вимірювання джерело і камеру так, щоб уся крапля була у полі зору СЕП, а її зображення — відповідно на екрані монітора комп'ютера.

У ПТК для вимірювання МН як прилад із зарядовим зв'язком використовується ПЗЗ камера Т313 (формат матриці 512×582, розмір елемента 9.6×12.2 мкм).

При застосуванні телевізійних систем в складі контрольно-вимірювальних засобів як правило приймають, що потенційне розрізнення в площині зображення визначається розмірами пікселя, отже похибка вимірювання не перевищує відповідного розміру пікселя Δ_p [3].

Більш строгою є оцінка по критерію роздільної здатності з врахуванням шумів ТСК. При цьому роздільна здатність визначається по ширині сумарної функції передачі модуляції як величина, яка оберне-

но до просторової частоти і на якій нормований коефіцієнт передачі контрасту ТСК чисельно ототожнюється з пороговим рівнем

$$\prod_i K_i(f_{K_{\Pi}}) = K_{\Pi}, \quad (1)$$

де $K_i(f_{K_{\Pi}})$ — функції передачі модуляції складових ланок приладу на просторовій частоті $f_{K_{\Pi}}$, для якої досягається значення порогового контрасту K_{Π} .

Пороговий контраст визначається для заданого значення імовірності реєстрації сигналу з врахуванням вхідного контрасту $K_{ВХ}$ і показника ступеню світлосигнальної характеристики $\gamma(E)$ таким чином [4]:

$$K_{ВХ}\gamma(E)q(E)K_{\Pi} = q_{\Pi}(P), \quad (2)$$

де $q(E)$, $q_{\Pi}(P)$ — відношення сигнал/шум при освітленості E та порогове відношення при імовірності P .

При умові, що $\gamma(E)=1$, тобто СЕП працює в діапазоні лінійності, отримуємо, що

$$K_{\Pi} = \frac{q_{\Pi}(P)}{K_{ВХ}q(E)}. \quad (3)$$

Для нормального адитивного шуму, середнє квадратичне значення якого дорівнює σ , "викид" шуму з імовірністю 0,99 не перевищує 3σ (відповідно квазіпікове значення — не перевищує 6σ , тобто $q_{\Pi}(0.99)=6$).

Значення $K_{ВХ}$ і $q(E)$ визначається для умов конкретного експерименту.

Використовуючи залежність вихідного сигналу пікселя від співвідношення між більш освітленою і менш освітленою ділянками пікселя, можна збіль-

шити точність визначення координати. Зокрема, як зазначається в [5], метод інтерполяції вихідного сигналу ПЗЗ підвищує точність визначення координати до рівня, який обмежується дисперсією шуму.

Найбільш достовірні експериментальні результати в цьому плані отримані в [3], де вказується, що гранична похибка вимірювання для сучасних ПЗЗ може бути зменшена до величини 1...2 мкм.

Для того, щоб забезпечити похибку вимірювання геометричних розмірів обертової краплі на рівні ± 1 мкм, необхідно мати достатнє збільшення Γ мікрооб'єктиву. Згідно із дифракційною теорією мінімальна відстань між двома точками, які можуть бути розрізнені в предметній площині як окремі $\Delta = 0.61\lambda \cdot \Gamma / N$, де N — числова апертура мікрооб'єктиву; λ — довжина хвилі, на якій ведуться спостереження. При умові, що $\Delta = \Delta_p$ збільшення мікрооб'єктиву визначається за такою формулою:

$$\Gamma = \Delta_p \cdot N / (0,61\lambda) . \quad (4)$$

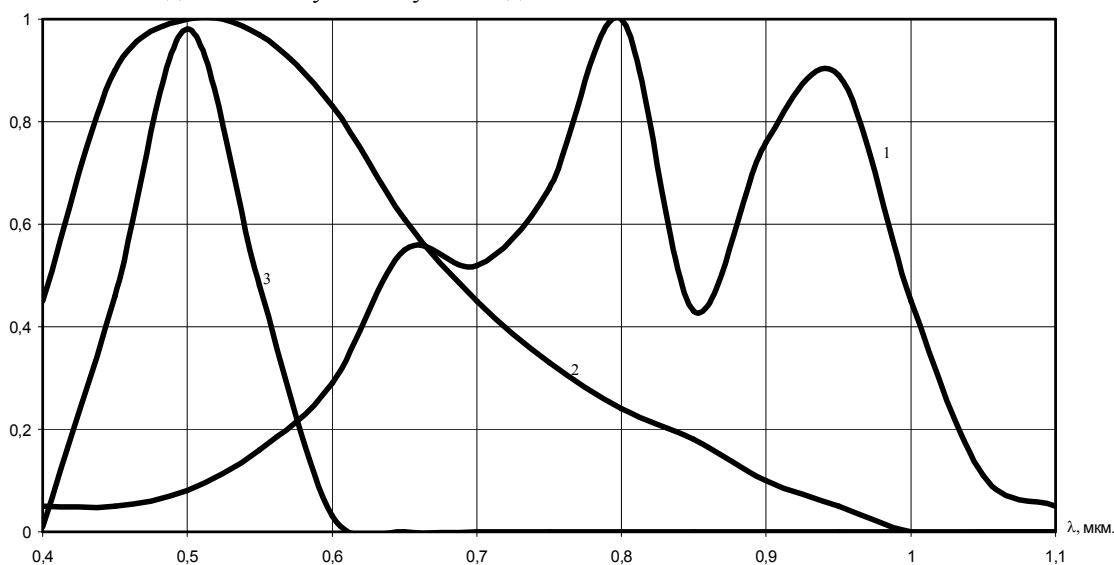
Вказаним умовам задовольняє серійний мікрооб'єктив 6.3×0.2. Забезпечуючи таку точність вимірювання, отримаємо зону контролю розміром приблизно 1.5×1.1 мм. Отже розміри обертової краплі в процесі їх вимірювання не повинні перевищувати розміри вказаної зони контролю.

Згідно з удосконаленою методикою визначення МН немає необхідності досягати умови Воннегута: довжина краплі в процесі її обертання $2x_0$ повинна перевищувати її діаметр $2y_0$ більше, ніж в 4 рази. Перевага нової методики дозволяє проводити визначення МН на менших частотах обертання краплі, ніж ті, які необхідні для проведення визначення МН за допомогою методики Воннегута. Тому необхідно

вводити в капіляр краплю об'ємом W , який не перевищує 1 мм³. Ця величина впливає із того, що радіус круглої краплі перед початком вимірювань повинен бути не більшим 0.5 мм для забезпечення умови попадання краплі в зону контролю. Найкращим варіантом буде використання таких форм краплі, зображення яких буде займати майже всю чутливу площину СЕП.

Проводити вимірювання міжфазного натягу запропонованим ПТК необхідно таким чином. У капіляр, який заповнений тяжчою рідиною, вводять краплю рідини меншої густини об'ємом не більше 1 мм³. В залежності від значення МН на межі розділу задають таку частоту обертання капіляру, щоб зображення краплі на екрані займало максимально можливу частину чутливої площини СЕП.

У процесі вимірювання світло від імпульсного джерела випромінювання проходить через капіляр із обертовою краплею, яка знаходиться в середовищі більш тяжчої рідини. Рідинами, на межі яких визначають МН, можуть бути як прозорі в деякому спектральному діапазоні, так і непрозорі в цьому ж діапазоні рідини. Природно, що застосування світлового мікроскопу для вимірювання міжфазного натягу методом обертової краплі на межі між непрозорою тяжчою рідиною і краплею довільної прозорості в загальному випадку є неможливим, оскільки світлові промені не будуть проходити скрізь капіляр. Для випадку непрозорої тяжчої рідини в даний час використовують інші методи вимірювання МН, наприклад, двокапілярний метод вимірювання МН [6], хоча вони мають значну похибку вимірювань.



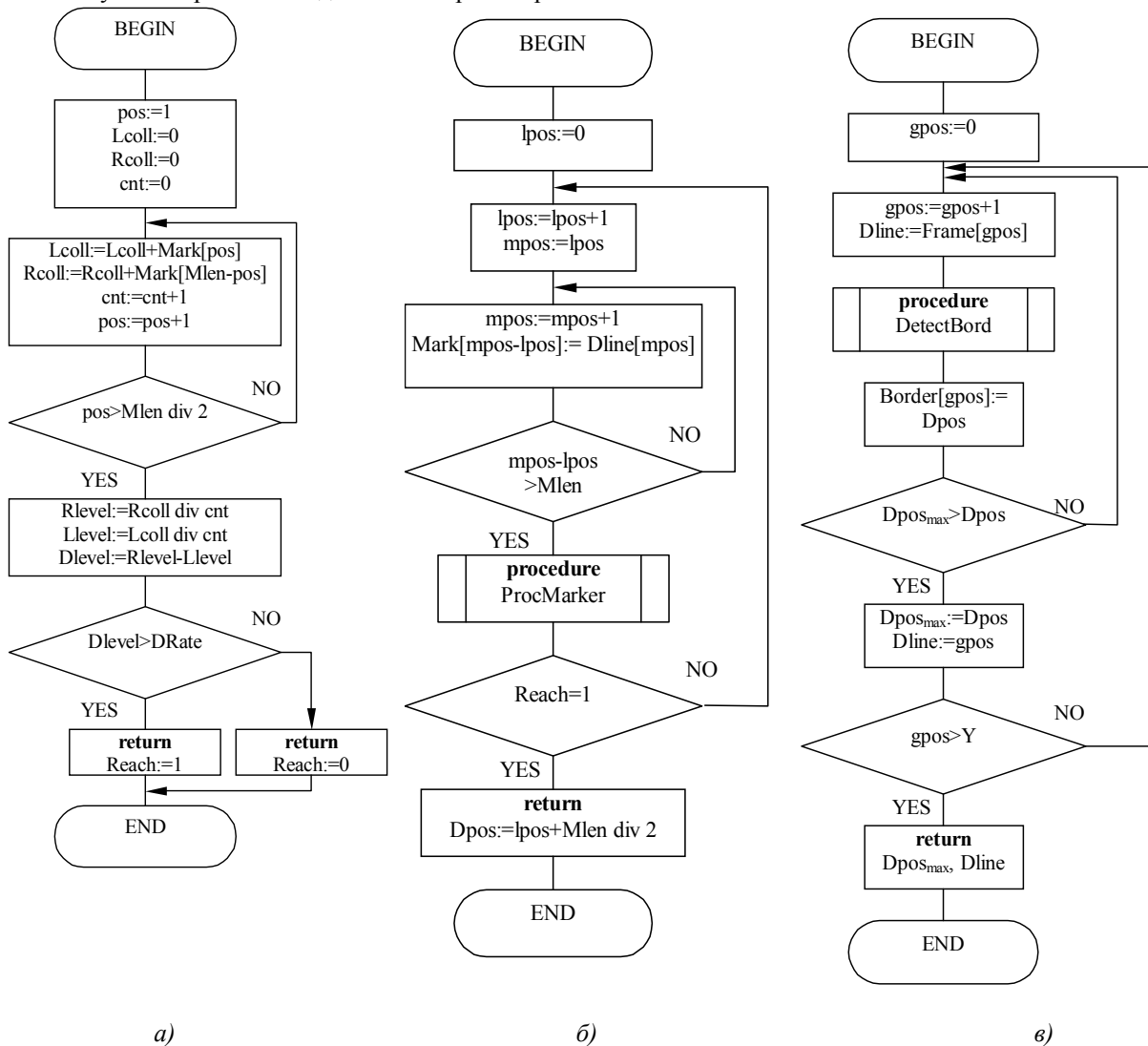
1 - ФПЗС-2М, 2 - OS25ii.

Рис. 2. Нормовані спектральні характеристики чутливості ока (3) та ПЗЗ-матриці.

В цьому відношенні ТСК мають більші можливості, оскільки визначення МН шляхом побудови зображення краплі з подальшим вимірюванням геометричних розмірів можна провадити в діапазоні спектральної чутливості ТСК без будь-яких обмежень. Отже, враховуючи спектральні характеристики сучасних ТСК (рис. 2) та співставляючи їх із спектральною характеристикою чутливості ока, можна сподіватись на суттєве розширення сортаменту досліджуваних рідин при застосуванні запропонованої методики визначення МН.

Реалізовані в розглянутій методиці алгоритми процедури адаптивного пошуку границь обертової краплі представлені на рис. 3. В основі процедури покладено принцип визначення відносної зміни рівня сигналу. В зображенні виділяється окремий ря-

док, в якому послідовно від початку з кроком 1 піксел умовно формується маркер *Mark[]* певної довжини (procedure **DetectBord**, рис. 3 б). Маркер поділяється на два рівні за довжиною частини, після чого обчислюються середні рівні сигналів *Rlevel* та *Llevel* на кожній з цих частин (procedure **ProcMarker**, рис. 3 а). Якщо різниця цих середніх рівнів *Dlevel* перевищує певну задану величину, вважають, що середина маркера знаходиться на границі контуру краплі. Якщо необхідно визначити не одну границю контуру краплі, вводять додатковий самостійний маркер, який просувається з кінця рядка. Таке саме визначення проводиться для кожного рядка зображення.



а) алгоритм прийняття рішення окремим маркером **ProcMarker**, б) алгоритм проходження лінії раstra **DetectBord**, в) алгоритм проходження раstra та формування масиву відстаней.

Рис. 3. Алгоритми процедури адаптивного пошуку границі контуру обертової краплі.

Алгоритм, який представлено на рис. 3 в, формує масив відстаней до границь контурів краплі *Border[]* і визначає максимальну відстань $D_{pos,max}$ та номер рядка *Dline*, що їй відповідає. Масив відстаней може бути переданий також до інших частин програми для додаткових обчислень.

Вхідними параметрами для цієї процедури є:

зображення, що аналізується у вигляді двовимірної масиви *Frame[]*;

довжина маркера у пікселях *Mlen*;

рівень відносної зміни сигналу *DRate*.

В структурі ТСК, призначеної для вимірювання геометричних розмірів обертової краплі, можуть бути застосовані різні типи пристроїв введення відеосигналу [7]. В даному випадку застосовано адаптер AVer PCImager, який має такі основні технічні характеристики: внутрішня розрядність — 32 біти, тип шини підключення — PCI; кількість незалежних відеовходів — 3; можливі режими представлення кольору — RGB (модифікації 24-біт, 16-біт, 15-біт, 8-біт), YUV4:2:2, YUV4:1:1. Існує можливість перепризначення та керування кольоровими компонентами зображення на апаратному рівні.

При створенні програмного забезпечення використовувалися сучасні розробки у галузі візуального проектування, в тому числі засіб швидкої розробки програм (RAD) на мові Object Pascal Inprise Delphi. Для ділянок коду, критичних до роз-

міру та швидкості виконання, було застосовано також програмування на рівні інтерфейсу операційної системи.

1. Кісіль Р. І., Чеховський С. А. Вплив коефіцієнта збільшення оптичної системи на результати вимірювання міжфазного натягу методом обертової краплі // *Методи та прилади контролю якості*. - 1998. - № 2. - С. 6-8.
2. Порєв В. А. Контроль оптичних полів приладами з електронним розгортанням зображення // *Методи та прилади контролю якості*. - 1998. - № 2. - С. 40-44.
3. Маслоков Ю. С. Определение предельных погрешностей измерительной системы на ПЗС // *Оптико-механическая промышленность*. - 1990. - № 4. - С. 70-73.
4. Брацлавец П. Ф., Росселевич И. А., Хромов Л. И. Космическое телевидение. - М.: Связь, 1973.
5. Большанин А. А., Слободян С. М., Яковлев А. Р. и др. Оптический двухканальный датчик для системы технического зрения // *Измерительная техника*. - 1987. - № 10. - С. 17-18.
6. Bowning R. W., Garton D. A., Kinneir J. N. Measurement of the surface tension of santowax 'R', para-, meta- and orthoterphenyl, diphenyl, diphenyl ether and dowtherm 'A'. - Winfith, Atomic energy establishment, 1961. - 27 p.
7. Сергеев А. А. Устройство ввода-вывода видеосигнала // *Приборы и техника эксперимента*. - 1997. - № 6. - С. 189.