

аналоговий вхід ЕОМ 22 (ПК РІІ – 400 МГц).

Блок електричного живлення 33 приладу дозволяє отримати на виході такі необхідні напруги: ± 12 В, $I = 2$ А; ± 30 В, $I = 1,5$ А; ± 6 В, $I = 2$ А; ~ 30 В, $I = 2$ А. При цьому вказані параметри напруг живлення є стабільними з відхиленням $\pm 2,5$ % при зміні напруги живлення приладу від 187 В до 242 В.

Кожний із блоків 14, 19, 21 і 33, так само, як і блоки 17 і 18, виготовлені у вигляді окремих електронних плат з відповідними навісними радіоелементами і виконують свої функції завдяки відповідному їх з'єднанню між собою.

Блок 15 для переміщення телевізійної камери 7 приладу – це механічний ручний пристрій, який забезпечує можливість переміщення камери 7 як у вертикальному, так і в горизонтальному напрямках з метою одержання контрастного зображення обертової краплі на екрані монітора ЕОМ. З метою виключення впливу вібрацій на роботу камери 7 передбачено механічне роз'єднання блока 15 від вузлів, які забезпечують обертання краплі.

Механізм 29 для ручного регулювання положення обертової краплі вздовж осі трубки 2 – це механічний вузол, який дозволяє здійснювати підняття і стабілізацію положення однієї із сторін такого механічного з'єднання: двигун 8, вали 26 і 31, диск 23, муфта 9, підшипники 32, камера 1 із всіма розміщеними в ній блоками і елементами. Вказані блоки і елементи з'єднання з цією метою розміщені на одній масивній основі, вертикальне положення однієї із сторін якої встановлюється механізмом 29.

Проведений метрологічний аналіз описаного вище приладу для вимірювання МН показав, що його сумарна приведена похибка з врахуванням методичної похибки не перевищує 1,15 %.

І. Кісіль Р. І., Чеховський С. А. Удосконалена методика і прилад для вимірювання міжфазного натягу методом обертової краплі // Методи та прилади контролю якості. - 1999. - № 4. - С. 36-40.

УДК 532.612.3

ВИЗНАЧЕННЯ ДИНАМІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК МІЖФАЗНОГО НАТЯГУ ПО ЗМІНІ ТИСКУ У ВИСЯЧІЙ КРАПЛІ СТАЛОГО ОБ'ЄМУ

© Малько О. Г., 2003

Івано – Франківський національний технічний університет нафти і газу

Розроблені алгоритм та програмний продукт віконного типу моделювання квазістатичного росту висячої краплі, яка утворюється на вістрі ножового капіляра. Одним з аспектів розрахунків програми є встановлення залежності міжфазного натягу від тиску в рідинному меніску заданого об'єму, що дало можливість обґрунтувати методологію визначення динамічних характеристик міжфазного натягу по зміні тиску у висячій краплі сталого об'єму (від моменту утворення поверхні розділу фаз до стану рівноваги).

Однією з найбільш перспективних інструментальних реалізацій вимірювання, контролю та діагностики якісного та кількісного складу розчинів на основі капілярних методів [1] є визначення динамічних характеристик міжфазного натягу по зміні тиску у висячій краплі сталого об'єму, що утворюється на вістрі ножового капіляра. Переваги запропонованого методу полягають:

- у відносній простоті реалізації;
- можливості повної автоматизації процесу вимірювання;
- автоматичному оновленні чутливого елемента (поверхні розділу фаз) при кожному циклі вимірювання;

- можливість оперативного контролю у реальному масштабі часу;
- можливість розміщенням первинних перетворювачів безпосередньо у зоні контролю;
- універсальність конструкції первинних перетворювачів щодо компонентів, що підлягають дослідженню.

– можливість створення єдиної автоматизованої системи контролю довкілля з розподіленими у просторі точками вимірювання.

Найпростішою інструментальною реалізацією запропонованого методу є циклічне занурення ножового капіляра у ємність з контрольованою рідиною (при аналізі самої рідини),

або спеціально підбраною рідиною (при аналізі оточуючого середовища) з наступним дослідженням у газовому середовищі зміни міжфазного натягу по вимірюваному тиску у рідинному меніску. При зануренні відбувається оновлення поверхні розділу фаз з подальшою модифікацією поверхні утвореної висячої краплі за рахунок внутрішньої адсорбції при дослідженні рідини (рис. 1а), або зовнішньої при дослідженні довкілля (рис. 1б).

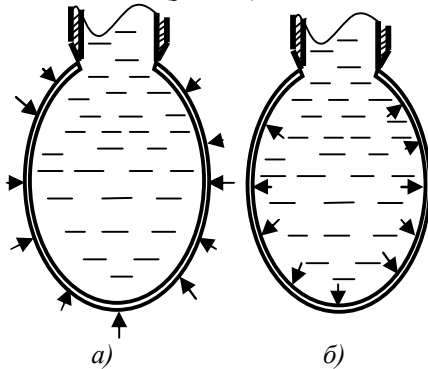


Рис. 1. Модифікація капілярних поверхонь за рахунок внутрішньої (а) і за рахунок зовнішньої адсорбції (б)

Для вирішення поставленої проблеми не обхідно розв'язати три основні задачі:

- розробити алгоритм моделювання квазістатичного росту висячої краплі з фіксованим радіусом основи і визначити діапазон зміни параметрів, що задаються;
- розробити програмний продукт віконного типу з можливістю завдання параметрів дискретизації;
- інтерпретувати результати моделювання.

В основу моделювання покладена система диференціальних рівнянь, які отримані з відомого рівняння капілярності Юнга-Лапласа [2] з доповненням деякими геометричними параметрами меніска:

$$\begin{cases} \frac{d\varphi}{dL_a} = K_a - \frac{\sin \varphi}{x_a} - z_a, \\ \frac{dx_a}{dL_a} = \cos \varphi, \\ \frac{dz_a}{dL_a} = \sin \varphi, \\ \frac{dV}{dL_a} = p \cdot x_a^2 \cdot \sin \varphi, \\ \frac{dS}{dL_a} = 2 \cdot p \cdot x_a, \end{cases} \quad (1)$$

де φ – кут між нормаллю до поверхні у даній точці і віссю капілярної поверхні; L – довжина дуги профілю краплі від омболічної точки; a^2 – капілярна стала ($a^2 = \gamma/\Delta\rho g$, де γ – міжфазний натяг; $\Delta\rho$ – різниця густин контактуючих фаз, g – гравітаційна

стала); K – Гаусівська кривизна капілярної поверхні в омболічній точці; x і z – декартові координати даної точки; V – об'єм, який обмежений капілярною поверхнею; S – площа капілярної поверхні. Індекс a означає, що всі геометричні параметри представлені у безрозмірній формі шляхом приведення до параметра a , тобто:

$$\begin{aligned} x_a &= x/a, L_a = L/a, R_a = R/a, z_a = z/a, \\ S_a &= S/a^2, V_a = V/a^3. \end{aligned} \quad (2)$$

Таке представлення дає можливість отримати узагальнені результати моделювання приведені до одного з геометричних (фізичних) параметрів. Крім того, для розкриття невизначеності на початку інтегрування в омболічній точці капілярної поверхні необхідно ввести граничне значення

$$\lim_{l \rightarrow 0} \frac{dy}{dL_a} = K_a/2. \quad (3)$$

Приведене значення тиску у даній точці визначається співвідношенням

$$P_a = \frac{P}{\rho g a^2} = K_a - z_a. \quad (4)$$

Як параметр, що задається, взято безрозмірне відношення $a_r^2 = a^2/r^2$, де r – радіус капіляра. Він визначає міжфазний натяг контактуючих фаз і виходячи з діапазонів можливих варіацій γ від 10 до 100 мН/м і r від 0,25 до 1 мм лежить у діапазоні 1 – 40.

Параметром, що визначає квазістатичне зростання об'єму краплі є приведена Гаусівська кривизна в омболічній точці K_a .

Параметром дискретизації є приведений об'єм краплі V_a , де інтервал дискретизації вибирається з умови поділу на n частин приведенного до r^3 об'єму півкулі радіуса r , тобто

$$V/r^3 = (2/3)\pi \approx 2. \quad (5)$$

Чисельне інтегрування здійснюється методом Рунге – Кута четвертого порядку з корекцією похибки на кроці по кожному інтегрованому параметру з одночасним внесенням поправки за екстраполяційним переходом до границі по Річардсону [3].

Процес інтегрування починається при нульових початкових умовах для всіх геометричних параметрів меніска з врахуванням (3). В загальному розв'язується крайова задача відносно значення параметра K_a яке відповідає умові: при досягненні точки кінця інтегрування, у якій значення

$x_a = x_a^r$ відповідає наперед заданому значенню параметра a_r^2 , об'єм меніска приймає дискретне значення V_a^i . З умови монотонності зростання об'єму краплі при збільшенні K_a виділяються три форми меніска (рис. 2): дуга профілю меніска перетинає

значення x_a^r , що продовжує стінку капіляра один раз; два рази; з'являється перешийок, крапля має дві точки перегину, профіль краплі тричі перетинає пряму, що продовжує стінку капіляра.

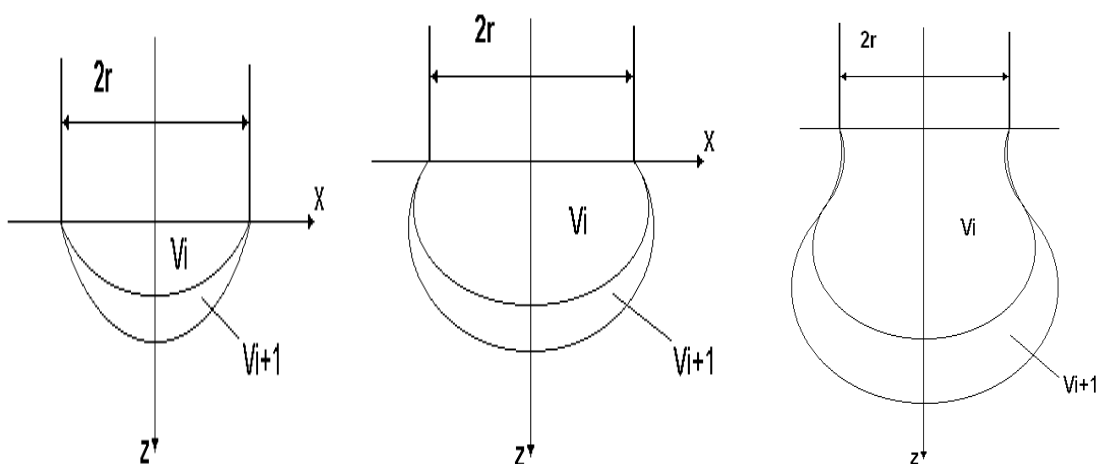


Рис. 2. Зміна профілю меніска в процесі зростання об'єму краплі

Збільшення об'єму здійснюється доти, поки не настане момент, коли шийка краплі стає продовженням стінок капіляра; на її профілі з'являються вертикальні ділянки. Наявність вертикальних ділянок свідчить про нестійкість краплі [4].

Для вирішення поставленої задачі в програмному середовищі Delphi 6 була розроблена програма "Dinamika", яка функціонально розбита на 5 модулів.

Основним модулем є модуль Dinamika.dpr. Цей модуль включає назву програми, перелік усіх форм, які входять до складу даного проекту, а також перелік форм, що ініціалізуються при запуску програми. Можна помітити, що до складу проекту входить 4 форми, а ініціалізується при запуску програми тільки головна форма. Інші 3 форми створюються при їх виклику за допомогою відповідних кнопок.

При запуску програми на екрані з'являється форма-заставка. Їй відповідає модуль Zastavka.pas. Призначення цієї форми – ознайомити користувача з назвою програми та авторськими правами. Форма заставка не містить ніяких кнопок, тобто закривати її не потрібно. Вона автоматично зникне через

декілька секунд. Після цього на екрані з'явиться основна форма.

Основна форма описана в модулі Main.pas. Ця форма містить в собі велику кількість різних компонентів. Для збільшення інформативності даної форми було вибрано компонент Page Control, що дозволяє розмістити на одній формі багато сторінок. Page Control представляє собою набір панелей із закладками. Кожна панель представляє собою дочірній об'єкт TabSheet і має свій набір інтерфейсних елементів. В даній програмі створено 5 закладок ("Вихідні дані", "Динаміка росту", "Графіки", "Таблиця приведених значень" і "Таблиця дійсних значень").

Перша закладка містить усі вихідні дані для роботи програми, а саме: радіус капіляра (в мм), густину рідини (в кг/м³), коефіцієнт поверхневого натягу (в Н/м), прискорення вільного падіння (в м/с²), параметри для розв'язку системи диференціальних (крок, точність, кількість ітерацій), а також назву директорії, в яку будуть записуватися створені в програмі таблиці, та дві кнопки "Динаміка" і "Графічні залежності". При запуску програми ця вкладка є активною і користувачу відразу

представляється можливість ввести необхідні початкові дані. Користувач може не вводити своїх даних, якщо дані у відповідні поля вже внесені і може відразу приступати до роботи з програмою. Слід відмітити, що поле для вводу прискорення вільного падіння затемнене. Це означає, що це поле редагувати користувачеві заборонено. Після введення вихідних даних користувач має вибір між двома кнопками, які є на першій вкладці. При натисканні кнопки “Динаміка” він запустить в програмі процес обрахунку необхідних параметрів для дослідження динаміки росту краплі, а при натисканні на кнопку “Графічні залежності” – просто перейде на вкладку “Графіки”. Перша вкладка головної форми зображена на рис.3.

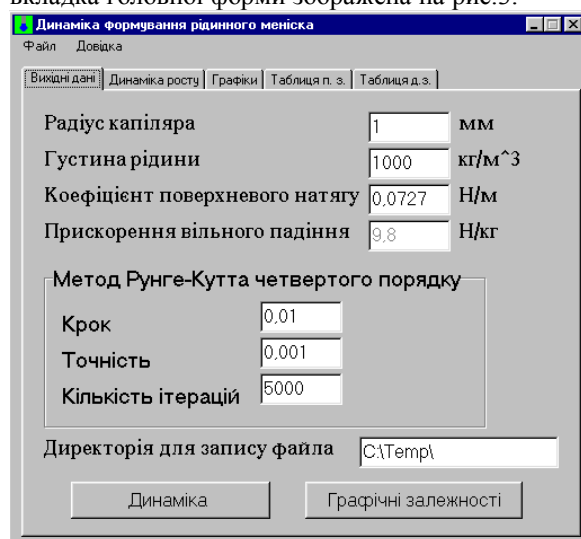


Рис. 3. Вкладка “Вихідні дані” головної форми

Друга вкладка “Динаміка росту” стане активною при натисканні кнопки “Динаміка”. Ця вкладка містить дві кнопки, поле з написом “Об’єм краплі” і графік для відображення профілю краплі в динаміці. Якщо перехід на цю вкладку відбувся через кнопку “Динаміка”, то можна провести дослідження динаміки росту краплі. Для цього необхідно натискати на кнопку “▶” і при кожному натисканні об’єм краплі зростатиме на певну, обчислену програмою, величину. При натисканні кнопки “◀” все буде відбуватися в зворотному порядку. Ця кнопка необхідна для того, щоб користувач міг повернутися на кілька кроків назад. Справа від цих кнопок є поле, в якому відображається об’єм краплі на кожному кроці. Об’єм відображається мм³. Для графічного представлення профілю краплі використовується компонент Chart, який призначений для відображення різного роду графіків та діаграм. В даному випадку під час роботи програми на графіку

відображається контур капіляра (тонкою лінією) і профіль краплі (потовщеною лінією). На рис.4 відображається вкладка “Динаміка росту” і профіль краплі в граничному положенні.

Третя вкладка “Графіки” є по суті підготовчою для побудови графічних залежностей коефіцієнта поверхневого натягу від поверхневих характеристик краплі. На ній можна перейти безпосередньо натиснувши на вкладці з назвою “Графіки” або кнопку “Графічні залежності”, що знаходиться на першій вкладці. На ній розміщені три поля для вводу фіксованих об’ємів: кнопка “Провести обчислення”, кнопка “Графік залежності σ від P ” і компонент DBGrid, який призначений для відображення табличних даних. Крім того, є ще два невидимі компоненти DataSource і Table. Компонент DataSource призначений для зв’язування компонентів Table і DBGrid. В поля, що мають назви V1, V2 і V3, користувач вносить фіксовані значення об’ємів, для яких будуть визначатися залежності. Далі необхідно натиснути кнопку “Провести обчислення” і почнеться процес обрахунку. Результати розрахунків заносяться в таблицю і відображаються в формі через компонент DBGrid. В подальшому користувач має можливість проглянути графіки залежності міжфазного натягу від тиску всередині капіляра. Вкладка “Графіки” представлена на рис. 5.

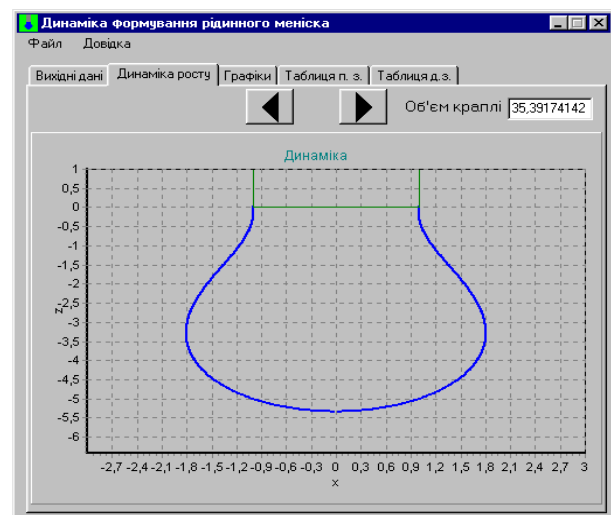


Рис. 4. Вкладка “Динаміка росту” головної форми

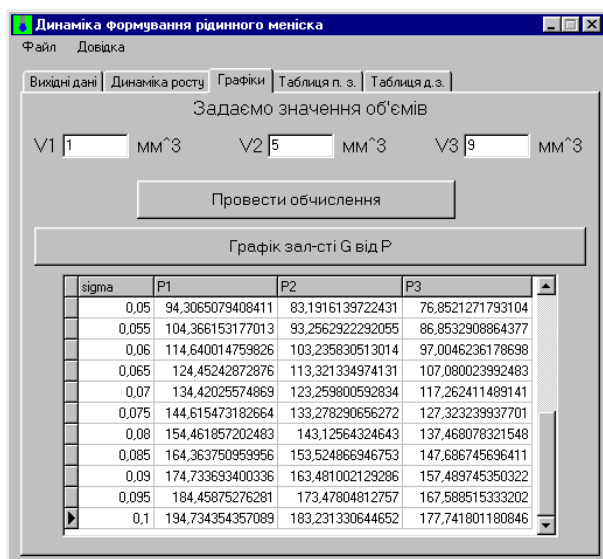


Рис. 5. Вкладка "Графіки" головної форми

Програма включає також форму, що призначена для відображення графічних залежностей. Ця форма описана в модулі Graf1.pas. Вона містить дві кнопки і компонент Chart. Перша кнопка "Побудувати графік" призначена для відображення графічних залежностей на компоненті Chart, а друга "Закрити" – закриває форму. Відкривається форма за допомогою кнопки "Графік залежності σ від P", що знаходиться на вкладці "Графіки" основної форми (рис.6).

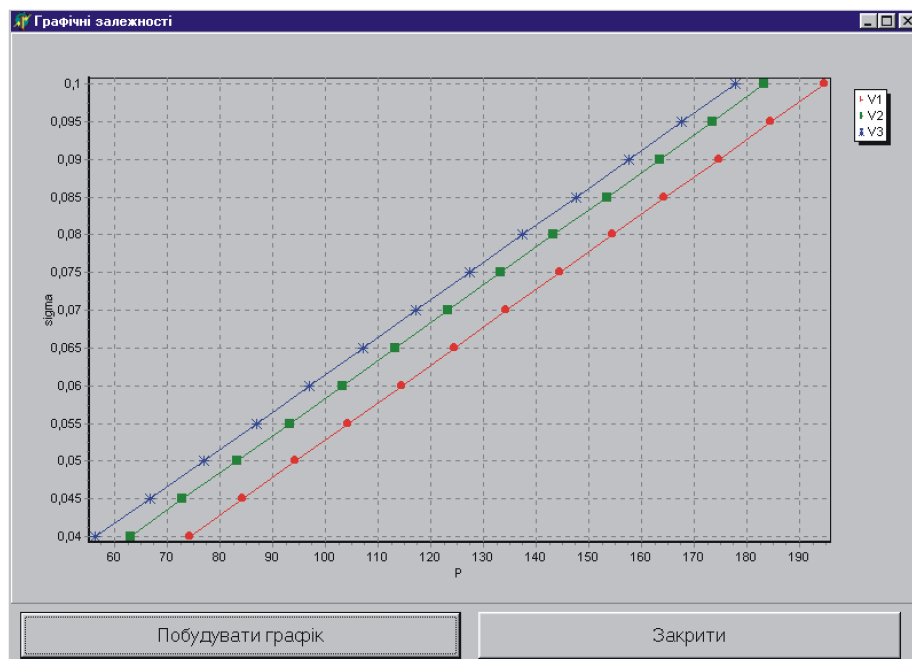


Рис. 5. Форма "Графічні залежності"

Вкладки "Таблиця п. з." і "Таблиця д. з." подібні між собою. На кожній з них розміщується компонент DBGrid. На вкладці "Таблиця п. з." в даному компоненті відображаються приведені поверхневі характеристики (x, z, V, S, p) рідинного меніска (краплі), а на вкладці "Таблиця д. з." ці ж поверхневі характеристики відображаються в дійсних величинах. На головній формі також знаходиться головне меню. В меню Файл є одна команда „Вихід”, вибір якої закриває програму "Dinamika".

Розроблений програмний продукт може бути використаний при аналізі капілярних поверхонь типу висяча крапля і має загальне прикладне значення як при проведенні науково дослідних робіт, так і як обчислювальний модуль у системі автоматизованого контролю властивостей рідин і розчинів за капілярними методами. Інтерес представляють залежності міжфазного натягу від тиску у краплі сталого об'єму (рис.5), вони практично лінійні і мають однаковий коефіцієнт нахилу, що дає досить просту апроксимаційну залежність.

Методи та прилади контролю якості, № 10, 2003

1. Малько О. Г., Дранчук М. М. *Методологічний підхід щодо якісного і кількісного контролю середовища та речовин по зміні міжфазного натягу // Методи та прилади контролю якості, №8, 2002. С.30 - 34.* 2. *Межфазная тензометрия / А. И. Русанов, В. А. Прохоров – СПб.: Химия, 1994. – 400 с.*

3. Д. Мак – Кракен, У. Дорн *Численные методы и программирование на ФОРТРАНЕ – М.: Мир, 1977.- 584 с.* 4. Финн Р. *Равновесные капиллярные поверхности. Математическая теория. – М.: Мир, 1989. – 310 с.*