

ІВАНО-ФРАНКІВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ТЕХНІЧНИЙ  
УНІВЕРСИТЕТ НАФТИ І ГАЗУ

На правах рукопису

ВИТВИЦЬКА ЛІДІЯ АНДРІЇВНА

РОЗРОБКА МЕТОДУ ТА ПРИЛАДУ ДЛЯ ВИМІРЮВАННЯ ПОВЕРХНЕВОГО  
НАТЯГУ РОЗЧИНІВ ПОВЕРХНЕВО-АКТИВНИХ РЕЧОВИН

05.11.13. – Прилади та методи контролю захисту  
навколишнього середовища, речовин,  
матеріалів та виробів

АВТОРЕФЕРАТ  
дисертації на здобуття вченого ступеня  
кандидата технічних наук

Івано-Франківськ - 1996



00754627 (V)

AB 34.903

Робота виконана в Івано-Франківському державному технічному університеті нафти і газу на кафедрі методів та приладів контролю якості

Науковий керівник: доктор технічних наук,  
професор Кісіль Ігор Степанович

Офіційні опоненти: доктор хімічних наук,  
професор Гуцуляк Борис Михайлович  
кандидат технічних наук,  
доцент Теплюк Зеновій Миколайович

Провідна організація: центральна науково-дослідна лабораторія  
АТ "Укрнафта" (Івано-Франківськ)

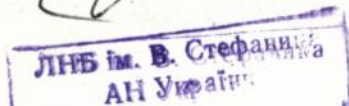
Захист відбудеться 28.06 1996 року о 14 год. на засіданні спеціалізованої вченої ради К09.02.03 в Івано-Франківському державному технічному університеті нафти і газу за адресою: 284014, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15.

З дисертацією можна ознайомитися в бібліотеці Івано-Франківського державного технічного університету нафти і газу.

Автореферат розісланий 23.05 1996 р.

Вчений секретар  
спеціалізованої вченої ради  
канд. техн. наук, доцент

М.М. Дранчук



## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

**Актуальність роботи.** Одним із важливих показників якості розчинів поверхнево-активних речовин (ПАР) є величина поверхневого натягу (ПН) на границі розділу фаз. При цьому при контролі якості ПАР необхідно визначати як статичні, рівноважні, так і динамічні, змінні в часі, коли ще відбувається процес адсорбції, значення ПН. Незважаючи на велику кількість методів визначення ПН, всі вони відносяться до непрямих методів і пов'язані або з руйнуванням поверхні розділу фаз, або з вимірюванням в дуже малому об'ємі (краплі) рідини, що в значній мірі впливає на точність вимірювання, особливо при дослідженні розчинів ПАР, де похибка досягає 40%. Це пояснюється тим, що при руйнуванні поверхні порушується адсорбційна рівновага, і для її відновлення до попереднього рівня необхідний певний час. Оскільки цей час залежить від багатьох чинників, то визначити його з достатнім ступенем точності не є можливо. При застосуванні методів, коли досліджується тільки крапля розчину, ПН якого вимірюється, концентрація ПАР і час встановлення рівноважного значення натягу в краплі може відрізнятись від аналогічних характеристик того ж розчину більшого об'єму.

Вищенаведені докази вказують на необхідність створення приладів для вимірювання як рівноважного, так і динамічного значення поверхневого натягу (РПН і ДПН) без руйнування поверхні розділу фаз і без дослідження краплі рідини, які дозволили б швидко і з високою точністю проводити вимірювання в автоматичному режимі без необхідності високої кваліфікації обслуговуючого персоналу.

**Мета і задачі досліджень.** Метою роботи є розробка методу і приладу для вимірювання ПН як чистих рідин, так і розчинів ПАР без руйнування поверхні розділу фаз. Досягнення поставленої мети потребує вирішення таких задач:

1. Обґрунтувати вибір методу витягування кільця для вимірювання ДПН та РПН рідин.
2. Розробити та проаналізувати математичну модель процесу підйому кільця.
3. Отримати аналітичні залежності величини ПН від значення об'єму піднятої кільцем рідини і висоти його підняття та різниці питомих ваг середовищ, поверхня розділу яких досліджується.

4. Обґрунтувати вибір оптимальних розмірів кільця і посудини з досліджуваною рідиною.
5. Проаналізувати вплив на величину ПН зміни площі досліджуваної поверхні при витягуванні кільця.
6. Розробити прилад, який реалізував би метод витягування кільця.
7. Здійснити теоретичні і експериментальні дослідження похибок приладу та його випробування.

Наукова новизна отриманих результатів визначається такими основними положеннями:

1. Розроблені математичний опис конфігурації внутрішнього і зовнішнього менісків, а також методика і програма чисельного розрахунку параметрів менісків і координат ліній контакту рідини з поверхнею кільця на різних стадіях його підняття.
2. Розроблені методика і програма розрахунку об'єму піднятої кільцем рідини в залежності від положення кільця відносно нульового рівня для різних значень капілярної сталої.
3. Отримані залежності величини ПН від об'єму піднятої рідини і положення кільця, які дозволяють для заданих значень питомих ваг двох середовищ, поверхня розділу яких досліджується, розраховувати величину ПН за вимірними значеннями висоти підняття кільця та прикладеної до нього сили до досягнення максимуму останньої. Це дає можливість здійснювати процес вимірювання без відриву кільця від поверхні розділу фаз, тобто без її руйнування.
4. Визначено критерії і обґрунтовано вибір діапазону оптимальних розмірів кільця і посудини з досліджуваною рідиною.
5. Розроблена методика і отримані величини поправок для розрахунку зкоректованого значення ПН, яке враховує зміну площі меніскової поверхні при витягуванні кільця.

Новизна підтверджена позитивними рішеннями на видачу двох патентів України.

Практична цінність роботи полягає в розробці приладу ВПН, в якому реалізований метод вимірювання ДПН і РПН як чистих рідин, так і розчинів ПАР без руйнування поверхні розділу фаз.

Діапазон вимірювання вказаних параметрів від 0,1 мН/м до 100 мН/м дозволяє забезпечити проведення необхідних вимірювань для досліджень в області колоїдної хімії і фізико-технічної механіки, а також управляти технологічними процесами з застосуванням розчинів ПАР.

Реалізація роботи. Розроблений і виготовлений прилад

пройшов випробування в лабораторіях фірми "Барва" та виробничого управління каналізаційного господарства "Екотехпром" (м. Івано-Франківськ). Прилад переданий для тимчасового користування управлінню "Екотехпром".

Результати наукових досліджень використовуються в навчальному процесі на кафедрі методів та приладів контролю якості ІФДУНГ.

Апробація роботи. Основні результати дисертаційної роботи доповідались і обговорювались на наукових семінарах кафедри методів і приладів контролю якості (1993, 1994, 1995, 1996 р.) на науково-технічних конференціях професорсько-викладацького складу Івано-Франківського державного університету нафти і газу (1994, 1995, 1996 р.р.), на конференції "Матеріали комплексу наукових і науково-технічних заходів країн СНД".

Публікації. За темою дисертаційної роботи опубліковано 9 друкованих праць, в тому числі отримано позитивні рішення на видачу двох патентів на винаходи України.

Структура та об'єм роботи. Дисертація складається із вступу, п'яти розділів і висновків, викладених на 147 стор. машинописного тексту, 31 рисунку, 1 таблиці, списку використаної літератури із 140 найменувань і 12 додатків.

На захист виносяться наступні наукові положення:

1. Методика й програма чисельного розрахунку параметрів менісків.
2. Спосіб визначення поверхневого натягу за виміряним значенням прикладеного до кільця зусилля і заданій висоті його підняття без відриву від поверхні розділу фаз.
3. Методика вибору оптимальних розмірів кільця і посудини з досліджуваною рідиною.
4. Методика і результати розрахунку поправки на зміну площі меніскової поверхні.
5. Принципові схемні і конструктивні рішення, закладені в основу розробленого приладу.
6. Методика теоретичних і експериментальних досліджень похибок приладу.

#### ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтована актуальність дисертації, сформульована мета і задачі роботи, наукова новизна і практична цінність, відображені основні результати роботи.

В першому розділі обґрунтована необхідність вимірювання

ДПН і РПН розчинів ПАР, виконаний огляд літератури по методах визначення ПН рідин, показана доцільність використання методу відриву кільця для розробки на його основі методу, який забезпечував би проведення вимірювання без руйнування поверхні розділу фаз, поставлена задача даної роботи.

Контроль ПН багатьох видів ПАР в процесі їх виробництва і використання є важливою техніко-економічною задачею, яка зумовлена як високою ціною отриманих ПАР, так і широким застосуванням в багатьох галузях господарства. Причому, найбільший ефект від використання ПАР в будь-якому технологічному процесі досягається при дотриманні оптимальної її концентрації в розчині. Визначити цю концентрацію можна шляхом дослідження залежності ПН розчину від часу існування поверхні розділу фаз, тобто знаходження ДПН. Чим більш поверхнево-активнішою є ПАР, тим швидше і при менших її концентраціях в розчині досягається рівноважне значення ПН.

Проведений аналіз існуючих методів для вимірювання ПН рідин показав, що в даний час відсутні засоби, які дозволяли б проводити в автоматичному режимі високоточні вимірювання ДПН та РПН без руйнування поверхні розділу фаз і без дослідження краплі рідини. Найбільш придатними для удосконалення з точки зору реалізації наведених вимог є методи витягування і відриву від поверхні рідини різних тіл правильної геометричної форми. В основі цих методів лежить існування залежності між величиною ПН і максимальним значенням сили, яка вертикально прикладена до тіла для його витягування з рідини. В залежності від форми застосовуваного твердого тіла розрізняють методи витягування вертикального та горизонтального циліндра, кулі, конуса, пластинки, кільця. При витягуванні з рідини тіла прикладена сила проходить через максимум і далі зменшується аж до руйнування меніска. Якщо для вимірювання сили використовуються ваги, які працюють за відхиленням, тобто сила визначається як функція зміщення деякого пружного елемента, то відрив тіла настає одночасно з досягненням максимуму прикладеної сили. При використанні електроваг, в основі яких лежить нульовий принцип зрівноважування, руйнування меніска і відрив від поверхні відбувається за межами максимуму сили. Це дає можливість відокремити точку максимуму сили і критичну точку відриву тіла від поверхні. Однак такі вимірювання проводяться на протязі декількох хвилин, що не дозволяє з достатньою точністю вимірю-

вати ДПН розчинів різних концентрацій. Тому виникає необхідність в розробленні такого удосконаленого методу, який забезпечував би вимірювання без великих затрат часу, тобто без досягнення точки максимуму. Було встановлено, що найбільш придатним для удосконалення є метод витягування кільця, оскільки в порівнянні з іншими вказаними вище методами витягування різних тіл прикладена до кільця сила і висота його підняття до руйнування меніска є значно більшими. Крім того, простота реалізації та зручність обслуговування дає можливість створити прилад, який забезпечував би проведення вимірювання в автоматичному режимі.

Другий розділ присвячений розробленню математичної моделі процесу підняття кільця при його витягуванні з рідини, отриманню аналітичних залежностей величини ПН від значення об'єму піднятої кільцем рідини і висоти його підняття, обґрунтуванню вибору оптимальних розмірів кільця і посудини з досліджуваною рідиною, розрахунку поправки на зміну площі досліджуваної поверхні.

Для розроблення математичної моделі процесу підняття кільця були поетапно розв'язані такі основні задачі: математично описані конфігурації внутрішнього (всередині кільця) і зовнішнього (зовні кільця) менісків; визначено координати ліній контакту рідини з поверхнею кільця; визначено об'єм піднятої кільцем рідини в залежності від положення кільця; визначено з наперед заданою точністю максимальний об'єм піднятої рідини й відповідну висоту підняття кільця при різних значеннях капілярної сталої.

Для математичного опису профілів менісків було використано рівняння Юнга-Лапласа, яке визначає перепад тиску через меніскову поверхню в будь-якій її точці (точка С на рис.1):

$$\Delta P_c = P_\beta - P_\alpha = Z \Delta \gamma = \sigma \left( \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right), \quad (1)$$

де  $P_\beta, P_\alpha$  - величини тисків у верхній і нижній фазах в точці С;  
 $R_1, R_2$  - основні радіуси кривизни поверхні в даній точці у взаємоперпендикулярних січеннях, які згідно рис.1, визначаються таким чином:  $R_1 = dS/d\psi$ ,  $R_2 = X/\sin\psi$ ;  $S$  - довжина дуги профіля меніска;  $\psi$  - кут, утворений дотичною до поверхні розділу в певній точці і позитивним напрямком осі  $X$ ;  $\Delta \gamma$  - різниця питомих ваг двох середовищ, поверхня розділу яких досліджується;  $Z$  - координата точки С по осі  $Z$ ;  $\sigma$  - величина повер-



кневого натягу.

Перевівши всі розмірні величини в безрозмірні шляхом поділу на капілярну сталу  $a^2 = \sigma/\Delta\gamma$ , взяту у відповідній степені, рівняння (1) було перетворене до виду:

$$d\psi/ds = z - \sin\psi/x. \quad (2)$$

Згідно рис.1 була встановлена така залежність між координатами точок поверхні та її кривизною

$$dx/ds = \cos\psi, \quad dz/ds = \sin\psi. \quad (3)$$

Система рівнянь (2), (3) описує внутрішній і зовнішній профілі поверхні розділу фаз. Однак, для випадку зовнішнього профілю був врахований від'ємний радіус кривизни  $R_2$  і протилежний, в порівнянні з внутрішнім профілем, напрямок інтегрування диференційного рівняння (2) ( для внутрішнього профілю від осі симетрії до поверхні кільця, для зовнішнього - від кільця до рівня незбуреної поверхні). Тому для зовнішнього профілю в рівняння (2) було введено від'ємну початкову кривизну  $K$ :

$$d\psi/ds = -K + z - \sin\psi/x. \quad (4)$$

Площа меніскової поверхні розраховувалась інтегруванням рівняння:

$$S_m = 2\pi X. \quad (5)$$

Об'єм, утворений обертанням навколо осі  $Z$  кривої профілю внутрішнього або зовнішнього менісків, в диференціальній формі поданий у вигляді:

$$dV/ds = \pi X^2 \sin\psi. \quad (6)$$

В результаті розв'язку системи рівнянь (2), (3), (5), (6), яка описує внутрішній меніск, з початковими умовами:  $X = \psi = 0$ ,

$S = 0$ ,  $Z = Z_i$  було отримано для різних значень  $Z_i$  сімейство кривих. Для вибору одного профілю внутрішнього меніска необхідно виконання граничних умов:  $X_{max} > R - r$  та  $0 < \psi_i \leq \pi/2$ , де  $R$  - радіус кільця,  $r$  - радіус дроту, з якого виготовлене кільце, за отриманими координатами точок контакту внутрішнього меніску з поверхнею кільця розраховувалась висота його підняття:

$$h = Z_{c_1} - r \cos\psi_i. \quad (7)$$

Параметри зовнішнього меніску були отримані при розв'язуванні системи рівнянь (3), (4), (5), (6) з початковими умовами:

$$\Psi = \varphi_2, z = 0, s = 0, \theta = 0, X = R + r \sin \varphi_2, K = h + r \cos \varphi_2$$

де  $\theta$  – крайовий кут змочування рідиною поверхні кільця.

З сімейства кривих, отриманих при задаванні різних значень  $\varphi_2$ , вибір кривої профілю зовнішнього меніска здійснювався шляхом перевірки виконання граничних умов  $K - z > 0, \Psi < \dots$ , а також з умови максимального асимптотичного наближення кривої до осі X.

Розраховані координати точок дотику внутрішнього та зовнішнього менісків з поверхнею кільця і з нульовим рівнем поверхні рідини та об'єми  $V_{\text{внутр}}, V_{\text{зовн}}$  розраховані за формулою (6), дали змогу розраховувати об'єм рідини, піднятої кільцем, при різних висотах його підняття. Шуканий об'єм є складною фігурою обертання, яка розраховувалась через об'єми більш простих фігур:

$$V = \pi X_m Z_{c_1} - V_{\text{внутр}} - \pi X_m^2 Z_{c_2} + V_{\text{зовн}} - \pi X_m^2 (Z_{c_1} - Z_{c_2}) + \\ + [\pi/3 (Z_{c_1} - h)(R^2 + R X_{c_1} + X_{c_1}^2) + \pi/3 (h - Z_{c_2})(X_{c_2}^2 + X_{c_2} R + R^2)] - 2\pi [1/2 R r^2 (2\pi - \varphi_2 - \varphi_1) - 1/2 r^3 (\cos \varphi_2 - \cos \varphi_1)]. \quad (8)$$

В роботі наведена програма з детальним її описом, яка при допомозі EOM реалізує вищенаведений алгоритм розрахунку об'єму піднятої рідини в залежності від висоти підняття кільця. Системи рівнянь, які описують меніски, розв'язувались числовим інтегруванням за методом Рунге-Кутта, що забезпечувало високу точність розрахунку. Програма здійснює перегляд різних значень початкових умов з перевіркою граничних умов і розрахунок об'єму піднятої рідини для різних значень висоти підняття аж до досягнення максимального значення об'єму. Введення кожний раз в програму різних значень капілярної сталої  $a^2$  дало можливість отримати у вигляді таблиць даних значення  $V$  і відповідних значень  $h$  при різних  $a^2$ .

В результаті інтерполяції та апроксимації сплайн-функціями третього порядку табличних даних була отримана залежність  $a^2 = f(V)$  у вигляді многочлена

$$a^2 = b/\Delta\gamma = (A + BV + CV^2 + DV^3), \quad (9)$$

де коефіцієнти A, B, C, D розраховані для фіксованих значень висоти підняття кільця  $h = 0.25, 0.3 \dots 4.5$  мм, що відповідає реальним висотам підняття до досягнення максимального об'єму.

Отримані залежності теоретично обґрунтовують метод, згідно з яким за вимірними значенням об'єму піднятої кільцем

рідини при його витягуванні з неї і заданія висоті його підняття до відриву від поверхні розраховується ПН рідини при відомій різниці питомих ваг контактуючих фаз.

З порівняння кільця з іншими тілами правильної геометричної форми, які використовуються в методах витягування тіла з рідини, випливає, що саме кільце зазнає найбільшого впливу (деформації) зі сторони меніска, а це істотно впливає на величину прикладеної сили, причому врахувати цей вплив неможливо. Тому доцільніше вибрати такі оптимальні розміри кільця, щоб якомога зменшити його деформацію. В даній роботі вибрано варіант двох утримуючих ниток, які кріпляться до тороїдального кільця у вигляді коромисла. Причому і нитки, і кільце виготовлені з платиного дроту одного і того ж діаметру, завдяки чому залишається незмінним і близьким до нуля кут змочування поверхні кільця в місці прикріплення ниток. Граничними умовами для вибору розмірів кільця є необхідність меншої ваги кільця в порівнянні з вагою піднятої ним рідини (в протилежному випадку різко знизиться точність вимірювання прикладеної сили, через яку визначається об'єм піднятої рідини), а також досягнення максимуму сили при висоті підняття більше 2 мм, що продиктовано умовою проведення вимірювання ПН до досягнення максимуму сили. Згідно з даними вимогами для різних значень капілярної сталості були розраховані вага кільця і вага піднятої рідини, а також висота кільця при досягненні максимального об'єму для різних співвідношень радіуса кільця  $R$  і радіуса дроту  $r$ , з якого воно виготовлене. Дані розрахунки дали можливість встановити, що обидві умови витримуються при  $40 \leq R/r \leq 70$ . Тому при виготовленні кільця зі стандартного платиного дроту радіусом  $r = 0,25$  мм доцільно вибрати радіус кільця в діапазоні  $10 \leq R \leq 17$  мм.

Для вибору оптимальних розмірів посудини з досліджуваною рідиною було визначено умови виникнення "пристінного ефекта", зумовленого взаємодією між собою двох менісків, утворених через наявність кільця і стінки посудини. Оскільки ємність посудини є постійною, то при достатній близькості один від одного, коли відсутня горизонтальна ділянка поверхні, ці два меніски, накладаючись, змінюють положення рівня, відносно якого ведеться відлік об'єму піднятої рідини. Якщо радіус основи циліндричної посудини  $R_{\text{пос}}$  менший подвійного радіуса кільця, то останнє "прилипає" до стінки. Однак, у випадку великих

розмірів посудини зростають вага посудини з досліджуваною рідиною та габаритні розміри підйомного столика, на якому вона розміщена. Це приводить до складностей і неточностей як при русі підйомного столика, так і при визначенні висоти його підняття. Тому мінімально допустимим розміром посудини є такий, який забезпечує тільки зіткнення двох менісків зі спільною лінією контакту, а не їх накладання один на одного. При цьому меніск, утворений між зовнішньою поверхнею кільця і внутрішньою поверхнею стінки посудини відноситься до осесиметричних менісків типу мостика складної конфігурації з вершиною в точці зіткнення двох менісків (точка А на рис.1). Даний мостик у вершині можна розділити на два прості: рідинний - зі сторони кільця і газовий - зі сторони стінки посудини. Для чисельного моделювання профілю мостика при виборі початку координат в його вершині була отримана система рівнянь:

$$\begin{aligned} d\psi/ds + \sin\psi/X &= \pm (1/R_0 + z), \\ dx/ds &= \cos\psi, \quad dz/ds = \sin\psi. \end{aligned} \quad (10)$$

з початковими умовами, які визначають координати точки вершини мостика

$$X = X_m, \quad z = 0, \quad s = 0,$$

де "плюс" відповідає рідинному, а "мінус" - газовому мостику.  $R_0$  - радіус кривизни в точці А.

Граничні умови були визначені зі співвідношення між кутами кривизни профілю меніска і кутами змочування поверхні кільця

$\theta = 0$  і стінки посудини  $\theta_c$ :

$$\psi \Big|_{X=R} = \psi_2, \quad \psi \Big|_{X=R_{\text{пос}}} = \pi/2 - \theta_c$$

В результаті багаторазового розв'язування системи рівнянь (10) для різних радіусів кільця і різних кутів змочування стінки отримано графіки залежності  $R_{\text{пос}} = f(R)$ , які дозволяють вибрати посудину такого мінімального розміру, при якому ще не буде виникати "пристінний ефект".

В процесі витягування кільця змінюється площа меніскової поверхні, утвореної кільцем, що впливає на загальну площу поверхні розділу фаз, на якій відбувається адсорбція ПАР, розчиненої в посудині певного об'єму. При цьому змінюється кількість адсорбованої речовини, що впливає на величину ПН. З розгляду характерних особливостей утворення поверхневого шару розчинів ПАР і механізму процесу адсорбції було встановлено,

що зміна величини ПН внаслідок зміни площі меніскової поверхні є більш істотною для слабоконцентрованих (до 1%) розчинів ПАР. Поправка на зміну площі була розрахована за формулою:

$$\xi_s = S_M / S_B, \quad (11)$$

де  $S_M$  – площа менісків визначалась при різних висотах підняття кільця як сума площ внутрішнього та зовнішнього менісків, які розраховувались чисельним інтегруванням рівняння (5):

$S_B$  – площа вільної поверхні рідини в посудині без кільця, яка визначалась через радіус основи посудини.

Поправка вноситься в розраховане за вищевказаною методикою значення ПН  $\sigma_p$  для визначення зкоректованого значення:

$$\sigma_{зк} = \sigma_p (1 - \xi_s). \quad (12)$$

Третій розділ присвячений розробці приладу для вимірювання ПН як чистих рідин, так і розчинів ПАР без руйнування поверхні розділу фаз (прилад ВРН).

На рис. 2 подана функціональна схема приладу, основними вузлами якого є: 1 – вузол прецизійного переміщення посудини з досліджуваною рідиною; 2 – вузол вимірювання прикладеного до кільця зусилля; 3 – вузол розрахунку ПН за отриманими залежностями; 4 – блок живлення приладу.

У вузол 1 входить чотириобмотковий кроковий двигун КД, який через передавальний механізм ГМ дискретно переміщує вгору-вниз столик С, на якому поміщена посудина П з досліджуваною рідиною. Робота двигуна керується ЕОМ через блок управління двигуном БУД. Блок ГМ призначений для передачі обертового руху валу двигуна в поступальний рух столика. Датчик нульового положення ДНП призначений для подачі на ЕОМ сигналу про те, що столик з посудиною знаходиться в крайньому нижньому положенні.

Вузол 2 складається із модифікованого датчика тиску МДТ, сигнал з якого через підсилювач П подається на аналого-цифровий перетворювач АЦП. Датчик МДТ – електровага, створена на базі датчика перепаду тиску, і призначена для вимірювання прикладеного до кільця зусилля. Нитки підвісу кільця К жорстко з'єднані зі штоком (скляною балкою) датчика тиску, напружений стан якого вимірюється ввімкненим в мостову схему тензорезистором. АЦП перетворює постійну напругу в двійковий код для введення в ЕОМ інформації про прикладене до кільця зусил-

ля  $P$ , за яким розраховується об'єм  $V$  піднятої рідини за формулою:  $V = P/\gamma$ , де  $\gamma$  - питома вага рідини, з поверхні якої витягується кільце.

Вузол 3 - це персональна ЕОМ з блоком узгодження БУз, який призначений для забезпечення двохстороннього зв'язку між ЕОМ та іншими блоками. Прилад працює за закладеною в пам'ять ЕОМ програмю, реалізованою на мові Paskal. Для розрахунку ПН в ЕОМ введені залежності  $a^2 = f(V, h)$  та  $\xi_s = f(h)$  і значення питомих ваг середовищ, поверхня розділу яких досліджується. На екрані дисплея висвічується інформація про хід виконання програми, а також результати розрахунку ПН та час існування поверхні розділу фаз. Робота приладу передбачена в двох режимах: настройки та безпосереднього вимірювання. Налаштування проводиться при відведенні посудини з рідиною в нижнє положення за двома контрольними точками: при мінімальному навантаженні, коли кільце, вага якого заздалегідь відома, не зазнає ніякого додаткового зусилля і при навантаженні, близькому до максимального, коли до кільця підвішується тягарець вагою, яка наближено рівна максимальній вазі піднятої рідини, якщо капілярна стала останньої рівна  $7 \text{ мм}^2$ .

В режимі вимірювання кільце приведене до зіткнення з досліджуваною поверхнею і здійснюється спочатку наближення, а потім уточнений розрахунок ПН за закладеними в пам'ять ЕОМ залежностями  $a^2 = f(V, h)$ . Наближено значення ПН та висоту підняття кільця  $h_{\text{max}}$  при максимальному об'ємі піднятої рідини ЕОМ розраховує в момент дотику кільця з досліджуваною поверхнею, коли сигнал на виході датчика МДТ стрибкоподібно зростає під дією сил ПН. В цей час столик, рухаючись угору з крайнього нижнього положення, зупиняється, вмикається відлік часу існування поверхні розділу фаз. Уточнене значення ПН визначається при висоті підняття рівній  $0,5h_{\text{max}}$ . При дослідженні розчинів ПАР на цій же висоті з інтервалом  $5 \text{ с}$  проводиться визначення об'єму піднятої рідини і розраховується динамічний ПН. Затримка кільця на цій висоті проводиться до тих пір, поки два останні значення не будуть відрізнитися на достатньо малу наперед введену величину, яка буде визначати точність знаходження рівноважного ПН. Для даного значення вводиться поправка згідно формули (12).

Четвертий розділ присвячений аналізу метрологічних характеристик розробленого приладу.

При метрологічних дослідженнях приладу ВПН використаний метод структурного аналізу, який полягає в розчленуванні сумарної похибки на окремі складові, які визначаються аналітично або експериментально. Всі складові похибки поділені на систематичні та випадкові. Для систематичних похибок від зміни площі меніскових поверхонь, а також від ненульового кута змочування розраховані поправки. Експериментальне дослідження відхилення дійсних розмірів кільця від заданих і розрахунок виникаючої в зв'язку з цим систематичної похибки дали підставу не враховувати дану похибку внаслідок дуже малого її значення. Для всіх решти випадкових складових: похибки каналу вимірювання прикладеного до кільця зусилля, похибки задавання висоти підняття кільця, похибки, зумовленої нахилом кільця, похибки вимірювання питомих ваг досліджуваних середовищ, похибки розрахунків теоретично та експериментально визначені закони їх розподілу, розраховані середньоквадратичні відхилення. Розраховане максимальне значення зведеної сумарної похибки становить 1,46%, що дозволяє прилад ВПН віднести до класу точності 1,5.

П'ятий розділ присвячений аналізу лабораторних і промислових випробувань приладу ВПН.

Випробування показали, що при дослідженні однорідних рідин забезпечується висока точність вимірювання. Максимальне відхилення результатів вимірювання і довідникових даних не виходить за межі похибки приладу.

При дослідженні розчинів ПАР були отримані залежності ПН від часу існування поверхні розділу фаз  $\sigma = f(t)$  і залежності ПН від концентрації ПАР в розчині  $\sigma = f(C)$ . Криві  $\sigma = f(t)$  дають можливість визначити той час, за який для даної концентрації може бути досягнене відповідне значення ПН. По отриманих залежностях  $\sigma = f(C)$  можна визначити для певного ПАР критичну концентрацію міцелуотворення. В лабораторії господарства "Екотехпром" прилад ВПН використовувався для проведення експрес-аналізу стічних вод на предмет розчинення в них різних ПАР.

#### ОСНОВНІ РЕЗУЛЬТАТИ РОБОТИ

1. Обґрунтована необхідність контролю якості розчинів ПАР як при їх виробництві, так і при застосуванні в багатьох областях науки, в різних галузях народного господарства. Показано, що одним

1. із основних показників якості ПАР є вимірні величини ДПН та РПН їх розчинів.
2. Обґрунтовано необхідність розробки методу вимірювання ДПН і РПН розчинів без руйнування поверхні розділу фаз, а також без дослідження краплі розчину.
3. На основі проведеного аналізу існуючих методів для вимірювання ДПН і РПН чистих рідин та розчинів ПАР теоретично і експериментально обґрунтований вибір методу витягування з рідини кільця для розроблення на його основі удосконаленого методу прецизійного вимірювання ПН в неперервному автоматичному режимі без руйнування поверхні розділу фаз.
4. На основі аналізу діючої на кільце з боку рідини сили встановлено, що величина цієї сили, яка залежить від величини ПН, визначається формою внутрішнього і зовнішнього менісків, утворених навколо кільця, і координатами точок їх контакту з поверхнею кільця.
5. Проведено чисельне моделювання процесу витягування кільця з рідини, починаючи від моменту дотику кільця до поверхні рідини до моменту досягнення максимального значення прикладеної сили. Це дозволило отримати табличні залежності значень параметрів менісків і об'єму піднятої кільцем рідини від висоти його підняття для різних значень каплярної сталої.
6. На основі вищевказаних табличних залежностей отримані аналітичні залежності, які дозволяють при відомій різниці питомих ваг досліджуваних середовищ розраховувати величину ПН за вимірним значенням прикладеної сили і заданій висоті його підняття без відриву від поверхні розділу фаз.
7. Визначено критерії й обґрунтовано вибір діапазону оптимальних розмірів кільця.
8. На основі чисельного моделювання меніскової поверхні типу рідинно-газового мостика, утвореного при накладанні менісків від кільця й від стінки посудини з досліджуваною рідиною, отримано залежності мінімально допустимого радіуса посудини від розмірів кільця.
9. Розраховано поправку для корекції впливу на величину ПН зміни площі меніскової поверхні при витягуванні кільця.
10. На основі теоретичних розробок створено автоматичний прилад ВПН для вимірювання динамічного і рівноважного поверхневих натягів як чистих рідин, так і розчинів ПАР.
11. Здійснений теоретичний і експериментальний аналіз метро-

логічних характеристик розробленого приладу ВПН. Встановлена можливість і запропонована методика виключення систематичних похибок. В результаті сумування випадкових складових похибок визначено, що клас точності приладу становить 1,5.

12. Проведені лабораторні і промислові випробування розробленого приладу ВПН, результати яких підтвердили правильність теоретичних розробок.

Основний зміст дисертації відображений в роботах:

1. Витвицька Л.А., Кісіль І.С. Вимірювання поверхневого натягу розчинів поверхнево-активних речовин без руйнування поверхні розділу фаз // Контр.-вим. техніка. - 1995. - №1: - С.
2. Витвицькая Л.А., Кисиль И.С. Метод кольцевой тензометрии для измерения поверхностных свойств растворов // Материалы комплекса научных и научно-технических мероприятий стран СНГ. - Одесса, 1993. - С.101.
3. Позитивне рішення на заявку 93006207 від 30.09.93. Спосіб визначення динамічного поверхневого і міжфазового натягів розчинів поверхнево-активних речовин / Л.А.Витвицька, І.С.Кісіль. - Прийнято 02.11.95.
4. Позитивне рішення на заявку 94062251 від 28.06.94. Спосіб визначення рівноважного і динамічного поверхневих натягів /Л.А.Витвицька, І.С.Кісіль, А.А.Бодник. - Прийнято 02.11.95.
5. Метод кільцевої тензометрії для визначення поверхневого натягу рідин без руйнування поверхні розділу фаз / Витвицька Л.А., Кісіль І.С., Малько О.Г., Бодник А.А.; Івано-Франк.ін-т. нафти і газу. Івано-Франківськ, 1994. - Зіс.:іл.-Бібліогр.:18 назв. - Укр. - Деп.15.05.94, N988-Ук94.
6. Витвицька Л.А., Кісіль І.С. Удосконалення метод вимірювання поверхневих властивостей розчинів ПАВ // Тези наук.-техн. конф. проф.-викл. складу інституту нафти і газу. - Івано-Франківськ, 1994. - С.170-171.
7. Витвицька Л.А., Бодник А.А., Стрілецький Ю.Й. Пристрій для визначення динамічного поверхневого натягу розчинів методом кільця і його метрологічний аналіз // Тези наук.-техн. конф. проф.-викл. складу університету нафти і газу. - Івано-Франківськ, 1995. - С.79.
8. Витвицька Л.А. Вибір матеріалу кільця при кільцевій тензометрії розчинів //Тези наук.-техн. конф. проф.-викл. складу університету нафти і газу. - Івано-Франківськ, 1995. - С.80.
9. Витвицька Л.А. Вплив зміни площі меніскової поверхні на

проф.-викл. складу  
ІНВ ім. В. Стефаника  
АН України

точність вимірювання поверхневого натягу розчинів методом кільця// Тези наук.-техн. конф. проф.-викл. складу університету нафти і газу. - Івано-Франківськ, 1996. - С. 89.

Витвицкая Л. А. Разработка метода и прибора для измерения поверхностного натяжения растворов поверхностно-активных веществ.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.11.13 - приборы и методы контроля защиты окружающей среды, веществ, материалов и изделий. Ивано-Франковский государственный технический университет нефти и газа, Ивано-Франковск, 1996.

Разработан метод и прибор для определения динамического и равновесного поверхностного натяжения чистых жидкостей или растворов поверхностно-активных веществ, сущность которого состоит в измерении подъемной силы, приложенной к горизонтально подвешенному кольцу при его движении вверх до момента отрыва от поверхности раздела фаз. Величина поверхностного натяжения рассчитывается на основании зависимостей натяга от измеренной силы при различных положениях кольца. Произведены метрологический анализ и испытания прибора. Основные результаты работы изложены в 9 публикациях.

Vytvitska L. A. Elaboration of the Method and Device for the Measurement of the Surface Tension of Solutions of the Surface-Active Agents.

The Thesis for the candidate of technical science degree in speciality 05.11.13 - devices and methods to control environment, substances, materials and products, Ivano-Frankivsk Technical University Oil and Gas, Ivano-Frankivsk, 1996.

The method of the determination of static and dynamic surface tension of pure liquids or solutions of surface-active agents is based on the measurement of a upward force exerted on a horizontally suspended ring, which travel up the moment of its breaking off from the surface of a phase separation. The magnitude of the surface tension is calculated on the basis of dependences of surface to determined force at various ring positions. Metrologycal analys and testing are present. The mainresult of the thesis are presented in 9 papers.

Ключові слова: динамічний і рівноважний поверхневий натяг, меніскова поверхня, поверхнево-активна речовина, кільце.

Л. В. В.

Підписано до друку 21.05.96 р., ф.60 x 94,  
I/16, зем. I23, др.арж.І, тир. 100 прим.  
Івано-Франківський державний технічний  
університет нафти і газу.  
Дільниця оперативної поліграфії, Карпатська 15.

AB 34.903