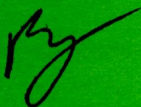


532.6
Б61

**ІВАНО-ФРАНКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ НАФТИ І ГАЗУ**



Біліщук Віктор Борисович

УДК 532.61

**УДОСКОНАЛЕНІ МЕТОДИ ОБЕРТОВОЇ КРАПЛИ ТА ПРИСТРІЙ ДЛЯ
ДОСЛІДЖЕННЯ ДИНАМІЧНОГО МІЖФАЗНОГО НАТЯГУ РОЗЧИНІВ
ПОВЕРХНЕВО-АКТИВНИХ РЕЧОВИН**

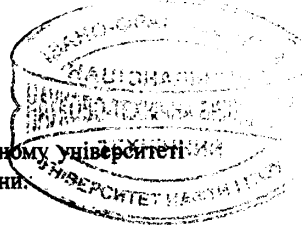
Спеціальність 05.11.13 – Прилади і методи контролю та визначення складу
речовин

Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Івано-Франківськ – 2011

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана у Івано-Франківському національному технічному університеті нафти і газу Міністерства освіти і науки, молоді та спорту України.



Науковий керівник: доктор технічних наук, професор

Кісіль Ігор Степанович,

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу,
завідувач кафедри методів та приладів контролю якості і сертифікації продукції.

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, старший науковий співробітник

Муравський Леонід Ігорович,

Фізико-механічний інститут ім. Г. В. Карпенка НАН України,
завідувач відділу оптико-електронних інформаційних систем.

кандидат технічних наук, професор

Дранчук Мирослав Михайлович,

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу,
професор кафедри автоматизації виробничих процесів і моніторингу в екології.

Захист відбудеться "26" квітня 2011р. о 10⁰⁰ на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 20.052.03 в Івано-Франківському національному технічному університеті нафти і газу за адресою: 76019, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15.

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу (76019, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15).

Автореферат розісланий "22" березня 2011р.

Вчений секретар спеціалізованої
вченої ради

Горбійчук М. І.



ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Поверхнево-активні речовини (ПАР) використовують практично в усіх галузях народного господарства. Особливістю при цьому є те, що невелика їх кількість у розчині дає можливість змінювати характер взаємодії контактуючих твердих тіл і рідин та розчинів при наявності в них ПАР. Завдяки цьому виникає можливість керувати процесами, пов'язаними із використанням таких ПАР, як миючі засоби, флотореагенти, піноутворювачі, стабілізатори емульсій, деемульгатори, антистатика, інгібітори корозії тощо.

Однак актуальною задачею залишається вибір типу ПАР, основи його розчину і концентрації в ньому ПАР з урахуванням характерних особливостей і умов таких технологічних процесів, де мають місце відповідні технологічні рідини і де передбачається використання ПАР. Одним із найбільш визначальних параметрів, який характеризує якість підібраних ПАР у розчині є міжфазний натяг (МН) на межі розділу фаз розчин ПАР–технологічна рідина. Дослідження динамічного (змінного в часі) МН (ДМН) на межі розділу розчин ПАР–технологічна рідина дозволяє на основі отриманих результатів здійснювати оптимальний підбір ПАР і його концентрації у розчинах з урахуванням параметрів контактуючої з ним технологічної рідини і особливостей технологічного процесу.

Широко розповсюдженим методом для вимірювання низьких значень МН на межі розділу розчин ПАР–технологічна рідина є метод обертової краплі. Значну увагу розробленню різних варіантів цього методу і приладів для вимірювання МН методом обертової краплі приділяли і приділяють Г. Принсен, Дж. Слаттері, С. Чен, М. Вілліамс, В. Городнов, Р. Кісіль та інші. Тим не менше підвищення точності отриманих результатів при дослідженні ДМН, підвищення надійності роботи приладів для вимірювання МН методом обертової краплі залишається актуальною задачею.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертаційна робота виконувалася відповідно до тематичного плану виконання науково-дослідної держбюджетної теми ІФНТУНГ Д1-07Ф "Дослідження нових енергоресурсозберігаючих екологічно безпечних технологій видобування та транспортування вуглеводнів" (0107U001558), теми Д6-10П "Нові технології видобування вуглеводнів із родовищ з важковилучуваними запасами" (0110U000116), держбюджетної теми "Наукові основи розробки методів, систем і нормативної бази для вимірювання витрати та контролю обладнання і технологічних параметрів у нафтогазовій галузі" (0109U008878), де автор був виконавцем відповідних розділів, пов'язаних із розробленням методів і засобів для вимірювання поверхневих властивостей на межах розділу фаз

Мета і завдання досліджень. Метою роботи є підвищення точності визначення ДМН розчинів ПАР шляхом розроблення методу фіксованої і удосконалення методу вільної обертових крапель з регресійним визначенням координат точок контурів таких обертових крапель.

Відповідно до цієї мети необхідно вирішити такі задачі:

- здійснити аналіз відомих варіантів методу обертової краплі і технічних засобів визначення ДМН розчинів ПАР цими варіантами і виявити шляхи удосконалення методу обертової краплі і технічних засобів, що його реалізують;
- розробити метод фіксованої обертової краплі визначення ДМН розчинів ПАР з регресійним способом визначення координат точок контуру цієї краплі;
- удосконалити метод вільної обертової краплі визначення ДМН розчинів ПАР з регресійним способом визначення координат точок контуру цієї краплі;
- отримати залежності для визначення коефіцієнта оптичного збільшення скляної трубки з досліджуваними контактуючими рідинами по всьому діаметру трубки в процесі її обертання;
- розробити, виготовити і провести лабораторні і натурні випробування приладу для визначення ДМН розчинів ПАР розробленим методом фіксованої і удосконаленим методом вільної обертових крапель з регресійним способом визначення координат точок контурів таких крапель;
- здійснити метрологічний аналіз розробленого методу фіксованої і удосконаленого методу вільної обертових крапель для визначення ДМН розчинів ПАР і приладу, що реалізує ці методи, а також розробити методіку метрологічного забезпечення цього приладу.

Об'єктом дослідження є процес підбору ПАР і їх концентрацій у розчинах, які використовують в різних технологічних процесах.

Предметом дослідження є удосконалені методи обертової краплі для визначення ДМН розчинів ПАР.

Методи дослідження. У дисертаційній роботі для розв'язання поставлених задач використовувалися теорія капілярності Лапласа, числові методи Рунге-Кутта розв'язку диференціальних рівнянь, теорія подібності для порівняння теоретичних і експериментальних капілярних поверхонь, методи теорії похибок та невизначеності вимірювань.

Наукова новизна отриманих результатів:

- вперше розроблений метод фіксованої обертової краплі визначення ДМН розчинів ПАР з регресійним способом визначення координат точок контуру цієї краплі, який дозволяє підвищити точність отриманих результатів, виключає неконтрольоване переміщення краплі легшої рідини у трубці з важчою рідиною під час їх обертання і дозволяє проводити дослідження ДМН розчинів ПАР при малих частотах обертання краплі;
- удосконалено метод вільної обертової краплі визначення ДМН розчинів ПАР з регресійним способом визначення координат точок контуру цієї краплі, який підвищує точність отримуваних результатів і дозволяє проводити дослідження ДМН розчинів ПАР при малих частотах обертання краплі;
- вперше отримано залежності для визначення коефіцієнта оптичного збільшення скляної трубки з досліджуваними рідинами, що дозволило підвищити точність визначення ДМН розчинів ПАР розробленим методом фіксованої і

удосконаленим методом вільної обертових крапель.

Практичне значення отриманих результатів:

- розроблено конструкцію вузла для утворення фіксованої обертової краплі;
- розроблено прилад ВМН-2 для визначення ДМН розчинів ПАР розробленим методом фіксованої і удосконаленим методом вільної обертових крапель, за допомогою якого можна здійснювати підбір ПАР і їх концентрацій у розчинах, які використовують в різних технологічних процесах;
- розроблено програмне забезпечення, яке дозволяє визначати координати точок експериментальних контурів фіксованої і вільної обертових крапель, розраховувати подібні до експериментальних теоретичні контури обертових крапель і шляхом їх порівняння визначати значення ДМН розчинів ПАР;
- впроваджено прилад ВМН-2, який реалізує розроблений метод фіксованої і удосконалений метод вільної обертових крапель для вибору ПАР і їх оптимальної концентрації у розчинах для інтенсифікації нафтовилучення на родовищах ВАТ "Укрнафта".

Особистий внесок здобувача. Основні теоретичні, розрахункові та експериментальні результати з формулюванням відповідних висновків отримані автором самостійно. У роботах, які опубліковані у співавторстві, здобувачеві належать: запропоновано метод фіксованої обертової краплі для отримання зміни МН в часі [6, 8, 15]; проаналізовано вплив матеріалу пробки, до поверхні якої фіксують обертову краплю, на форму цієї краплі [5]; розроблено методики порівняння теоретичного і експериментального контурів обертових крапель [15, 7]; зроблений аналіз ходу променів через скляну трубку з рідинами і отримані залежності для розрахунку коефіцієнта оптичного збільшення скляної трубки з рідинами [2]; розроблена методика визначення ДМН розчинів ПАР за допомогою удосконаленого приладу [4]; запропонована конструкція пристрою для утворення фіксованої обертової краплі [5, 13, 21]; здійснено метрологічний аналіз приладу ВМН-2 і запропонована методика його калібрування [12]; розроблено алгоритм програми для визначення координат точок контуру обертової краплі на основі її зображення [1, 10, 18].

Апробація результатів дисертації. Основні положення дисертаційної роботи доповідалися та обговорювалися на таких конференціях: VI, VII, VIII і IX науково-практичних конференціях „Приладобудування 2007 (2008, 2009, 2010): Стан і перспективи” (м. Київ) – 2007 р., 2008 р., 2009 р., 2010 р.; IV Всеросійській науково-практичній конференції "Нафтопромислова хімія" (м. Москва) – 2008р; конференції "Метрологія та вимірювальна техніка" (м. Харків) – 2008р.; II і III Всеукраїнських науково-технічних конференціях студентів та аспірантів "Погляд у майбутнє приладобудування" (м. Київ) – 2009р., 2010р.; XXI Відкритій науково-технічній конференції молодих науковців і спеціалістів "Проблеми корозійно-механічного руйнування, інженерія поверхні, діагностичні системи" (м. Львів) – 2009р.; Міжнародній н/т конференції "Нафтогазова енергетика: проблеми і перспективи" (м. Івано-Франківськ) – 2009 р.; 2-й науково-практичній конференції студентів і

молодих учених "Методи та засоби неруйнівного контролю промислового обладнання" (м. Івано-Франківськ) – 2009р.; IV Міжнародній науково-технічній конференції "Сучасні проблеми радіоелектроніки, телекомунікацій та приладобудування" (м. Вінниця) – 2009 р.; V і VI Науково-практичних конференцій студентів та аспірантів «Ефективність інженерних рішень у приладобудуванні» (м. Київ) – 2009р., 2010 р., Науково-практичній конференції "Підвищення ефективності буріння свердловин та інтенсифікації нафтогазовидобутку на родовищах України" (м. Івано-Франківськ) – 2010 р.

Публікації. За результатами виконаних досліджень опубліковано 24 наукові роботи, з яких 6 статей у фахових наукових виданнях, що входять до переліку ВАК України, 1 патент України на винахід, 1 патент України на корисну модель, 16 тез доповідей на н/т конференціях.

Обсяг та структура дисертації. Дисертаційна робота складається із вступу, п'яти розділів основної частини, висновків, переліку використаної літератури та 11 додатків. Загальний обсяг дисертації складає 216 сторінок, з яких основний зміст викладено на 131 сторінці друкованого тексту, 39 рисунках і 18 таблицях. Список використаних джерел складається із 56 найменувань.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтовано актуальність проблеми досліджень, показано зв'язок роботи з науковими програмами, планами та темами, сформульовано мету та задачі досліджень, визначено наукову новизну та практичне значення отриманих результатів роботи.

У першому розділі виконано аналіз відомих методів об'єму краплі і обертової краплі та приладів, що їх реалізують для визначення ДМН на межі розділу двох нерозчинних одна в одній рідин, досліджено переваги і недоліки цих методів та приладів.

Розчини ПАР суттєво знижують МН на границі розділу двох рідин (до 0,001 мН/м), тому основна увага приділена методу обертової краплі, який дозволяє визначати такі низькі значення МН, і приладам, робота яких базується на цьому методі. Слід відмітити, що приведена до діапазону похибка визначення МН відомих приладів складає 1,5%. На підставі проведеного аналізу визначено основні недоліки існуючих модифікацій методу обертової краплі і приладів для визначення ДМН цим методом, сформульовано мету і основні задачі досліджень.

Другий розділ присвячений розробленню методу фіксованої і удосконаленню методу вільної обертової крапель для визначення ДМН розчинів ПАР з регресійним розрахунком параметрів такого теоретичного контуру, який відповідає експериментальному контуру фіксованої і вільної обертової крапель, отриманню залежностей для оцінки коефіцієнта оптичного збільшення обертової трубки з досліджуваними рідинами.

Метод фіксованої обертової краплі передбачає утворення фіксованої краплі легшої рідини ФК на вертикальній твердій поверхні пробки Пр всередині

горизонтальної трубки Tr з важчою рідиною BP (рис. 1), що не допустить зміщення краплі легшої рідини вздовж осі обертання трубки з рідинами в результаті вібрацій трубки, виникнення локальних течій важчої рідини в трубі тощо. З метою обґрунтування можливості утворення фіксованої краплі був зроблений аналіз процесу її утворення під час обертання трубки, в результаті якого було визначено, що крапля легшої рідини повинна змочувати матеріал пробки $Пр$. Утворення фіксованої краплі легшої рідини шляхом витискання її за допомогою поршня $Пор$ через отвір в пробці $Пр$ відбувається в процесі обертання трубки з важчою рідиною. При цьому відбувається натікання краплі легшої рідини на поверхню пробки з утворенням кута натікання $\theta_{нат}$. Для фіксування краплі легшої рідини на поверхні пробки необхідно, щоб $\theta_{нат} < 90^\circ$, що забезпечується вибором матеріалу пробки. При цьому шорсткість поверхні пробки $Пр$ не повинна перевищувати $Ra=1,75$ мкм. Форма контуру утвореної фіксованої обертової краплі після припинення подачі рідини в краплю (пол. 6) буде змінюватись в часі тільки у зв'язку із адсорбцією ПАР

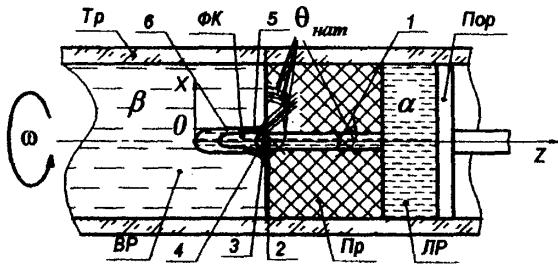


Рис. 1. Утворення фіксованої обертової краплі легшої рідини на вертикальній поверхні пробки під час обертання трубки з рідинами:

1-6 – стадії формування краплі легшої рідини під час обертання трубки з важчою рідиною; BP – важча рідина; $ЛР$ – легша рідина; $Пр$ – пробка; $Пор$ – поршень; Tr – скляна трубка; $ФК$ – фіксована крапля легшої рідини

ретичних контурів фіксованої обертової краплі за основу були взяті диференційні рівняння, які описують контур обертової краплі в безрозмірній формі:

$$\begin{cases} \frac{d\varphi}{dl_c} = K_c - \frac{x_c^2}{2} \frac{\sin \varphi}{x_c}, \\ \frac{dx_z}{dl_c} = \cos \varphi, \\ \frac{dz_c}{dl_c} = \sin \varphi, \end{cases} \quad (1)$$

де $x_c = x/c$, $z_c = z/c$ – безрозмірні координати точок теоретичного контуру обертової

із об'єму досліджуваних рідин на межу розділу фаз.

На основі аналізу параметрів контуру утвореної таким чином фіксованої обертової краплі розроблений метод фіксованої обертової краплі визначення ДМН розчинів ПАР, який передбачає розрахунок координат точок такого теоретичного контуру обертової краплі, який відповідає експериментально отриманому контуру.

Для розрахунку тео-

краплі;

x, z – розмірні координати точок теоретичного контуру обертової краплі;

$c = \sqrt[3]{\sigma/\Delta\rho\omega^2}$ – обертова стала;

$\Delta\rho$ – різниця густин рідин;

ω – кутова швидкість обертання;

σ – міжфазний натяг на межі розділу двох рідин;

φ – кут між віссю обертання трубки та нормаллю, проведеною до контуру обертової краплі в точці з координатами x_c, z_c ;

$K_c = K \cdot c$, K – безрозмірна і розмірна кривизна поверхні фіксованої обертової краплі у її вершині, відповідно;

$l_c = l/c$, l – безрозмірна і розмірна довжина дуги меридіана профілю фіксованої обертової краплі від її вершини, відповідно.

Розрахунок координат точок теоретичного контуру фіксованої обертової краплі згідно рівнянь (1) здійснювався їх числовим інтегруванням методом Рунге-Кутта четвертого порядку з корекцією кроку інтегрування по кожному параметру на кроці з такими початковими умовами: $\varphi=0^\circ$; $z_c=x_c=0$. Задаючим параметром при цьому була кривизна K_c у вершині краплі, яка може змінюватись в діапазоні $0 < K_c < 3/\sqrt[3]{4}$, а змінним параметром був вибраний параметр l_c . Результати розрахунку деяких теоретичних контурів обертової краплі наведені на рис. 2. Слід відмітити, що

розрахунок параметрів x_c, z_c починався від вершини краплі т. O і закінчувався при досягненні кутом φ значення кута $\theta_{\text{крит}}$, який також приймався рівним 0° .

Суть запропонованого регресійного способу знаходження такого теоретичного контуру, який відповідає експериментальному контуру, полягає в наступному. Із зображення фіксованої обертової краплі визначають розмірні координати точок її експериментального контуру

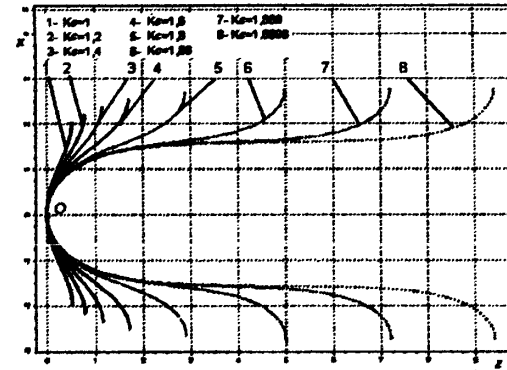


Рис. 2. Розраховані контури фіксованих обертових крапель для різних K_c

x_{ei} і z_{ei} . Після чого розраховують два теоретичні контури, задаючись початковими значенням кривизни K_c для кожного контуру таким чином:

$$K_{c1}=A+0,3(B-A); K_{c2}=A+0,6(B-A), \quad (2)$$

де A і B – задані межі зміни K_c на ітерації.

На першій ітерації значення A і B задають такими: $A=1$, $B=3/\sqrt[3]{4}$. В процесі подальших розрахунків теоретичних контурів значення A і B змінюють так, щоб

отримати теоретичний контур, який є подібним до експериментального. Для цього розраховані теоретичні контури порівнюють із експериментальним шляхом розрахунку середнього арифметичного значення різниці параметрів C для кожного із теоретичних контурів таким чином:

$$C = \frac{\sum_{i=1}^N \left| \frac{z_{ei}}{x_{ei}} - \frac{z_{ej}}{x_{ej}} \right|}{N}, \quad (3)$$

де i, j – номер точки експериментального і теоретичного контурів, відповідно;

N – кількість точок експериментального контуру;

$i=1+N, j=1+T$;

T – кількість точок теоретичного контуру

Розраховують C згідно (3) тільки для тих точок, для яких виконується умова:

$$\left| \frac{z_{ei}}{z_{eN}} - \frac{z_{ej}}{z_{eT}} \right| \rightarrow \min. \quad (4)$$

В результаті порівняння обох теоретичних контурів з експериментальним для кожного із двох теоретичних контурів отримують середні арифметичні значення різниць параметрів порівняння C_1 і C_2 . Нові наступні значення K_{C1} і K_{C2} розраховують таким чином:

$$\text{якщо } C_1 < C_2: B=K_{C2}; K_{C2}=K_{C1}; K_{C1}=A+0,3(B-A); \quad (5)$$

$$\text{якщо } C_1 > C_2: A=K_{C1}; K_{C1}=K_{C2}; K_{C2}=A+0,6(B-A). \quad (6)$$

Процедуру розрахунку і порівняння теоретичних контурів фіксованої обертової краплі з експериментальним контуром повторюють до тих пір, поки не отримують пару теоретичного і експериментального контурів, для яких C буде мінімальним.

Розрахунок МН з використанням координат точок подібних експериментального і розрахованого контурів фіксованої обертової краплі пропонується здійснювати за допомогою такої залежності:

$$\sigma = \Delta\rho\omega^2 \left(\frac{x_e}{x_c} \right)^3, \quad (7)$$

де x_e і x_c – координати точок подібних експериментального і теоретичного контуру фіксованої обертової краплі, визначених на профілях цих крапель на відстані $(0,6+0,8)Z$ від їх вершини для однакових значень кута φ ;

Z – загальна довжина експериментального або теоретичного контуру.

Кут φ для експериментального контуру визначають шляхом апроксимації частини її контуру в околі точки з координатою x_c поліномом 3-го порядку, а значення кута φ для теоретичного контуру отримують в процесі його розрахунку.

Удосконалений метод вільної обертової краплі полягає в тому, що використовують всі точки експериментального контуру в регресійному способі розрахунку подібного теоретичного контуру вільної обертової краплі. Удосконалений метод вільної обертової краплі також передбачає розрахунок координат точок теоретичних контурів вільних обертових крапель шляхом розв'язку

рівнянь (1), які відповідають експериментально отриманим координатам профілю. Відмінність полягає в тому, що кривизна K_c для вільних обертових крапель знаходиться в діапазоні $3/\sqrt[3]{4} < K_c < \infty$. Деякі результати розрахунку теоретичних контурів вільної обертової краплі для деяких значень K_c наведені на рис. 3. Розрахунок параметрів x_c, z_c починався від вершини краплі т. O , в якій $\varphi=0^\circ$ і закінчувався значеннями x_c, z_c , які отримані для $\varphi=180^\circ$. Слід відмітити, що для значення $\varphi=90^\circ$ параметри x_c і z_c розраховуються з підвищеною точністю шляхом зменшення кроку інтегрування dl .

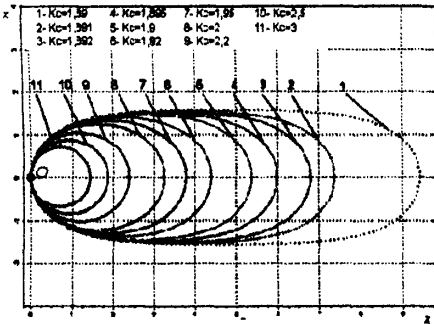


Рис. 3. Розраховані контури вільних обертових крапель для різних K_c

Регресійний спосіб розрахунку подібного теоретичного контуру вільної обертової краплі є подібним до способу розрахунку подібного теоретичного контуру фіксованої обертової краплі. Відмінність полягає в методиці порівняння теоретичного і експериментального контурів вільної краплі. Замість параметра C в процесі порівняння в даному випадку розраховують середнє арифметичне значення відстаней \bar{R} від точок експериментального контуру до лінії,

яка з'єднує дві сусідні точки розрахованого контуру згідно виразу:

$$\bar{R} = \sum_{j=1}^N R_j / N, \quad (8)$$

$$\text{де } R_j = \sqrt{\left(\frac{b_1 - b_2}{a_2 - a_1}\right)^2 + (a_1 \cdot \dot{x}_{ej} + b_1 - z_{ej})^2}, \quad a_1 = \frac{\dot{z}_{cl+1} - \dot{z}_{cl}}{\dot{x}_{cl+1} - \dot{x}_{cl}}, \quad b_1 = z_{cl} - a_1 \cdot \dot{x}_{cl}, \quad a_2 = \frac{\dot{x}_{cl} - \dot{x}_{cl+1}}{\dot{z}_{cl} - \dot{z}_{cl+1}},$$

$$b_2 = z_{ej} - a_2 \cdot \dot{x}_{ej}, \quad \dot{x}_{ej} = \frac{x_{ej}}{Z_e}, \quad z_{ej} = \frac{z_{ej}}{Z_e}, \quad \dot{x}_{cl} = \frac{x_{cl}}{Z_c}, \quad \dot{z}_{cl} = \frac{z_{cl}}{Z_c};$$

Z_e, Z_c – загальна довжина експериментального і теоретичного контурів вільної краплі.

Обчислення МН з використанням координат точок подібних експериментального і розрахованого контурів вільної обертової краплі здійснюють за допомогою залежності (7). Відмінність полягає в тому, що для експериментального контуру використовують точку, яка знаходиться на його екваторі, а для теоретичного контуру використовують точку з $\varphi=90^\circ$.

Теоретичний контур вільної обертової краплі, для якого \bar{R} буде мінімальним, відповідає експериментально одержаному контуру вільної краплі.

При розрахунку значень ДМН на межі розділу двох рідин у відповідні моменти часу методами фіксованої і вільної обертових крапель згідно (7) необхідно

використовувати дійсні координати точок експериментального контуру x_0 , визначені з урахуванням коефіцієнта оптичного збільшення M скляної трубки з досліджуваними рідинами. Похибка, з якою визначають M в подальшому впливає на похибку визначення ДМН. З метою отримання залежностей для визначення коефіцієнта M було зроблено аналіз ходу променів світла через скляну трубку з рідинами (рис. 4), в результаті якого було встановлено, що відношення видимого радіусу OR' до реального радіусу краплі OZ дорівнює коефіцієнту оптичного збільшення M . Коефіцієнт M є функцією параметрів оптичної системи (зовнішнього R_3 , внутрішнього R_B радіусів скляної трубки, радіусу краплі R , коефіцієнтів заломлення скла трубки n_c , важчої рідини n_p) і визначається так:

$$M = f(R_3, R_B, n_c, n_p, R) = \frac{OR'}{OZ} = \frac{n_p \sqrt{X_{R'}^2 + Y_{R'}^2}}{R_B \cdot \sin \left(\arccos \left(\frac{X_B}{R_B} \right) - \beta \right) \cdot n_c}, \quad (9)$$

де X_R, Y_R, X_B, β – параметри, які розраховують за допомогою залежностей, наведених в табл. 1.

Графічні залежності M від відомих розмірів обертової краплі і розмірів трубки представлені на рис. 5.

Отримані аналітичні і графічні залежності дозволяють розраховувати коефіцієнт оптичного збільшення M , який створює скляна трубка з досліджуваними рідинами, що підвищує точність визначення ДМН. Дійсні координати точок експериментальних контурів обертових крапель, які використовують для визначення МН, з врахуванням коефіцієнта M розраховують згідно такого виразу:

$$x_{ei} = x_{eoi} / M. \quad (10)$$

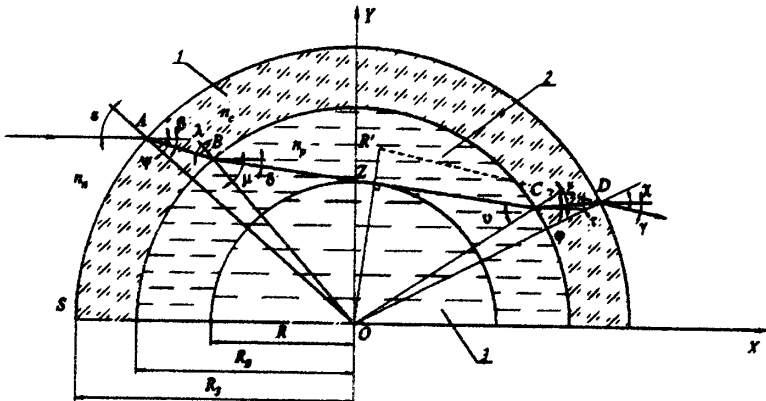


Рис. 4. Хід променів в трубці з краплею:

1 – скляна трубка; 2 – важча рідина; 3 – легша рідина.

Залежності для розрахунку координат відповідних точок при проходженні променя світла через скляну трубку з двома досліджуваними рідинами.

Параметр, що розраховується згідно рис. 4	Залежність для розрахунку
Координати т. А	$X_A = \cos(\angle AOS) \cdot R_3;$ $Y_A = \sin(\angle AOS) \cdot R_3.$
Кут β	$\beta = \angle AOS - \arcsin\left(\frac{\sin(\angle AOS) \cdot n_n}{n_c}\right)$
Координати т. В	$X_B = \frac{-\operatorname{tg}(\beta) \cdot (Y_A - \operatorname{tg}(\beta) \cdot X_A) + \sqrt{R_2^2 - (Y_A - \operatorname{tg}(\beta) \cdot X_A)^2 + (\operatorname{tg}(\beta) \cdot R_2)^2}}{1 + \operatorname{tg}^2(\beta)};$ $Y_B = \operatorname{tg}(\beta) \cdot X_B + (Y_A - \operatorname{tg}(\beta) \cdot X_A).$
Кут δ	$\delta = \arccos\left(\frac{X_B}{R_B}\right) - \arcsin\left(\sin\left(\arccos\left(\frac{X_B}{R_B}\right) - \beta\right) \cdot n_c / n_p\right).$
Координати т. С	$X_C = \frac{-\operatorname{tg}(\delta) \cdot (Y_B - \operatorname{tg}(\delta) \cdot X_B) + \sqrt{R_2^2 - (Y_B - \operatorname{tg}(\delta) \cdot X_B)^2 + (\operatorname{tg}(\delta) \cdot R_2)^2}}{1 + \operatorname{tg}^2(\delta)};$ $Y_C = \operatorname{tg}(\delta) \cdot X_C + (Y_B - \operatorname{tg}(\delta) \cdot X_B).$
Радіус краплі	$OZ = R = R_B \cdot \frac{\sin\left(\arccos\left(\frac{X_B}{R_B}\right) - \beta\right) \cdot n_c}{n_p}.$
Координати т. Z	$X_Z = \frac{-\operatorname{tg}(\delta) \cdot (Y_B - \operatorname{tg}(\delta) \cdot X_B) + \sqrt{R^2 - (Y_B - \operatorname{tg}(\delta) \cdot X_B)^2 + (\operatorname{tg}(\delta) \cdot R)^2}}{1 + \operatorname{tg}^2(\delta)};$ $Y_Z = \operatorname{tg}(\delta) \cdot X_Z + (Y_B - \operatorname{tg}(\delta) \cdot X_B).$
Кут φ	$\varphi = \arccos\left(\frac{X_C}{R_B}\right) + \arccos\left(\frac{X_B}{R_B}\right) - \beta - \pi.$
Координати т. D	$X_D = \frac{-\operatorname{tg}(\varphi) \cdot (Y_C - \operatorname{tg}(\varphi) \cdot X_C) + \sqrt{R_3^2 - (Y_C - \operatorname{tg}(\varphi) \cdot X_C)^2 + (\operatorname{tg}(\varphi) \cdot R_3)^2}}{1 + \operatorname{tg}^2(\varphi)};$ $Y_D = \operatorname{tg}(\varphi) \cdot X_D + (Y_C - \operatorname{tg}(\varphi) \cdot X_C).$
Координати т. R'	$X_{R'} = \frac{Y_D - \operatorname{tg}(\gamma) \cdot X_D}{\operatorname{tg}\left(\arccos\left(\frac{X_D}{R}\right) - \operatorname{tg}(\gamma)\right)}$ $Y_{R'} = \operatorname{tg}\left(\arccos\left(\frac{X_D}{R}\right)\right) \cdot R' \cdot X_{R'}.$
Видимий радіус краплі	$R_{\text{вид}} = OR' = \sqrt{X_{R'}^2 + Y_{R'}^2}.$

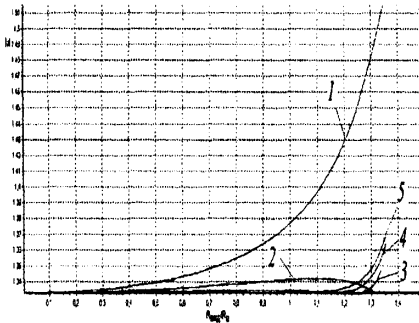


Рис. 5. Залежності коефіцієнта M від розмірів трубки і видимих розмірів обертової краплі:

- 1 – $R_3/R_B=1,2$; 2 – $R_3/R_B=1,6$; 3 – $R_3/R_B=2$;
4 – $R_3/R_B=2,4$; 5 – $R_3/R_B=2,8$

окремих блоків приладу. Крім цього, в цьому розділі певна увага приділена розробленню алгоритму програмного забезпечення для визначення координат точок контуру фіксованої обертової краплі з прозорої і непрозорої легшої рідини, методикам роботи з приладом і калібруванню оптичної системи приладу.

Структурна схема приладу ВМН-2 для дослідження ДМН методом фіксованої обертової краплі приведена на рис. 6,а. Конструктивно прилад складається із двох блоків і персонального комп'ютера (рис. 6,б). В одному із блоків розміщені основні механічні блоки, в другому – всі електронні блоки. Оброблення зображень із фіксованої або вільною обертовими краплями і визначення ДМН регресійними способами розрахунку координат точок крапель здійснюється за допомогою персонального комп'ютера і відповідного програмного забезпечення.

Конструкція вузла для формування фіксованої обертової краплі представлена на рис. 7, а. При дослідженні ДМН на межі розділу двох рідин удосконаленим методом вільної обертової краплі у вказаному вище приладі тільки замінюють скляну трубку з пробками для формування фіксованої обертової краплі на скляну трубку з пробками для формування вільної обертової краплі рис. 7, б.

В приладі для стробоскопічного освітлення обертової краплі в скляній трубці використовується матриця світлодіодів, які випромінюють світло з довжиною хвилі 470 нм, що дає змогу усунути хроматичні аберації. Зображення обертових крапель отримують за допомогою фотоапарата Nikon D40, який має матрицю з 6 млн. світлочутливих елементів.

Для визначення координат точок експериментального контуру фіксованої обертової краплі розроблений відповідний алгоритм, який включає в себе пошук стінок трубки і пробки на зображенні, пошук меж зображення, в яких знаходиться фіксована обертова крапля, визначення координат точок її експериментального

Метод фіксованої обертової краплі застосовують у випадках змочування легшою рідиною матеріалу пробки в трубці. У випадках, коли легша рідина не змочує матеріал пробки необхідно застосовувати метод вільної обертової краплі.

У третьому розділі описано розроблену структурну схему та конструкцію приладу, який реалізує розроблений метод фіксованої і удосконалений метод вільної обертових крапель для дослідження ДМН, конструкцію вузлів для утворення фіксованої і вільної обертових крапель, конструкцію

контуру з точністю до пікселя, визначення координат точок експериментального контуру фіксованої обертової краплі з субпіксельною точністю. Цей алгоритм дозволяє визначати координати точок експериментальних контурів прозорих і непрозорих фіксованих обертових крапель. Пошук стінок трубки, пробки і меж зображення, в яких знаходиться фіксована обертова крапля здійснюється шляхом розділення зображення по рівню яскравості на об'єкт і фон, знаходження координат точок експериментального контуру згідно алгоритму Кенні. Оператор для усунення окремих точок на зображенні контуру краплі має такий вигляд:

$$Q_{z,x} = \begin{cases} 255, & \text{якщо } \sum_{k=z-N}^{z+N} \sum_{l=x-N}^{x+N} GM_{k,l} > 255 \cdot N, \\ 0, & \text{інакше,} \end{cases} \quad (11)$$

де $N=(H-1)/2$; H – розміри вікна, в якому здійснюється пошук ізольованої точки;

k, l – координати точки у вікні;

GM – матриця із зображеннями контуру фіксованої обертової краплі після оброблення згідно алгоритму Кенні.

Оператор зменшення розривів в отриманому зображенні експериментального контура фіксованої обертової краплі має наступний вигляд:

$$S_{z,x} = \begin{cases} 255, & \text{якщо } \left(\sum_{k=z-1}^{z+1} \sum_{l=x-1}^{x+1} GM_{k,l} = 255 \right) \text{ та } (Q_{z,x} = 255), \\ 0, & \text{інакше.} \end{cases} \quad (12)$$

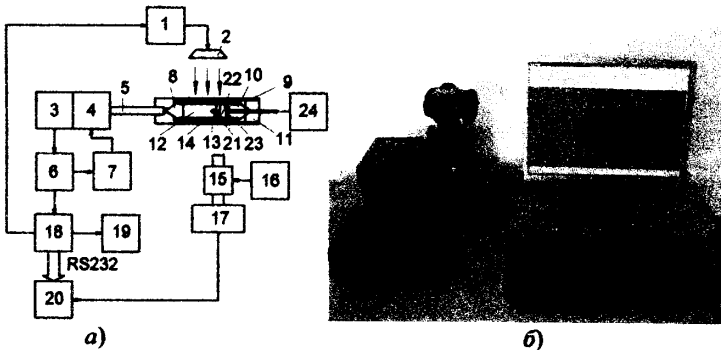


Рис. 6. Прилад VMH-2 для дослідження ДМН методом фіксованої обертової краплі:

а – структурна схема приладу; б – загальний вигляд приладу;

1 – електронний ключ; 2 – освітлювач; 3 – давач обертів; 4 – двигун; 5 – вал двигуна; 6 – тригер Шміта; 7 – блок керування двигуном; 8, 10 – пробки; 9 – патрон; 11 – гвинт; 12 – важка рідини; 13 – крапля легшої рідини; 14 – скляна трубка; 15 – об'єктив; 16 – вузол фокусування; 17 – фотоспарт; 18 – мікроконтролер; 19 – блок індикації; 20 – персональний комп'ютер; 21 – пробка з отвором; 22 – легша рідина; 23 – поршень; 24 – механізм переміщення штока поршня

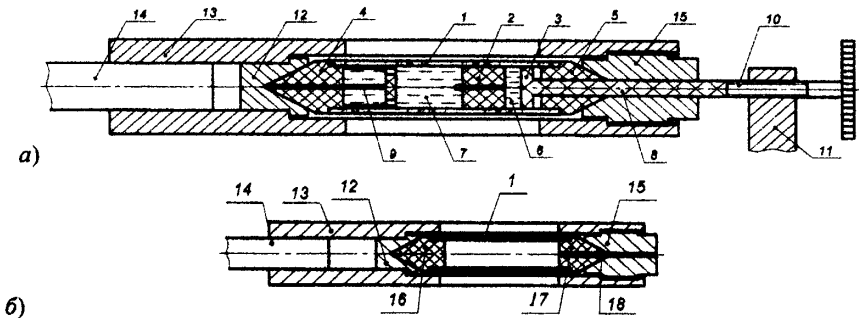


Рис. 7. Конструкції вузлів приладу для формування обертових крапель:
а – фіксованої; б – вільної;

1 – скляна трубка; 2 – пробка з отвором; 3 – поршень; 4 – конусоподібна пробка з порожниною; 5 – конусоподібна пробка; 6 – камера з легшою рідиною; 7 – камера з важчою рідиною; 8 – шток; 9 – пухирець повітря; 10 – гвинт; 11 – опора гвинта; 12 – втулка; 13 – патрон; 14 – вал двигуна; 15 – гвинт фіксуючий; 16, 17 – пробки; 18 – ущільнююча прокладка

Визначення координат експериментальних контурів вільних крапель здійснювалось відомим алгоритмом радіальної розгортки.

Згідно наведених вище алгоритмів визначення координат точок експериментальних контурів обертових крапель і ДМН методами фіксованої/вільної обертових крапель розроблено відповідне програмне забезпечення в середовищі Delphi7.

Для калібрування оптичної системи приладу використано окулярну сітку мікроскопа МБС-9, лінії якої нанесені через $1 \pm 0,001$ мм. В процесі калібрування визначають коефіцієнт перетворення оптичної системи приладу K_{opt} згідно виразу:

$$K_{opt} = N_x / N_y, \quad (13)$$

де N_x – кількість ліній сітки;

N_y – кількість точок зображення, яка відповідає N_x .

У четвертому розділі наведено результати метрологічного аналізу розробленого приладу ВМН-2 для дослідження ДМН розчинів ПАР. При цьому використано метод структурного аналізу, який полягає в розчленуванні сумарної похибки на окремі складові.

В загальному сумарна похибка визначення ДМН включає методичні і інструментальні похибки. До інструментальних похибок відносяться похибки визначення різниці густин досліджуваних рідин, вимірювання частоти обертання трубки з рідинами, визначення координат контуру обертової краплі із її зображення, калібрування оптичної системи приладу, визначення коефіцієнта оптичного збільшення скляної трубки з досліджуваними рідинами. До методичних похибок віднесені похибки методики розрахунку теоретичного контуру обертової краплі і розрахунку подібного теоретичного контуру.

В результаті зробленого метрологічного аналізу встановлено, що на сумарну

похибку визначення ДМН найбільший вплив мають похибки визначення координат точок експериментального контуру обертової краплі, визначення коефіцієнта оптичного збільшення скляної трубки з рідинами, калібрування оптичної системи приладу.

Інструментальну складову сумарної похибки визначення ДМН $\Delta\sigma_{\text{інст}}$ приладом ВМН-2 визначають за формулою:

$$\Delta\sigma = \omega^2 \left(\frac{x_d}{x_c} \right)^3 \Delta(\Delta\rho) + 2\omega\Delta\rho \left(\frac{x_d}{x_c} \right)^3 \Delta\omega + 3\Delta\rho\omega^2 \frac{x_d^2}{x_c^2} \Delta x_d, \quad (14)$$

$$\Delta x_d = \frac{K_{\text{опт}} \Delta x_p}{M} + \frac{x_p \Delta K_{\text{опт}}}{M} + \frac{x_p K_{\text{опт}} \Delta M}{M^2}, \quad (15)$$

$\Delta(\Delta\rho)$ – похибка вимірювання різниці густин досліджуваних рідин $\Delta\rho$;
 $\Delta\omega$ – похибка вимірювання кутової швидкості обертання трубки ω ;
 Δx_p – похибка визначення координат точки на зображенні краплі x_p ;
 $\Delta K_{\text{опт}}$ – похибка визначення коефіцієнту перетворення оптичної системи приладу $K_{\text{опт}}$;

ΔM – похибка визначення коефіцієнта оптичного збільшення M .

В результаті аналізу отримано, що максимальне значення похибки $\Delta\sigma_{\text{інст}}$ не перевищує 0,157 мН/м, а методична складова $\Delta\sigma_{\text{мет}} = 0,007$ мН/м.

Максимальне значення сумарної похибки приладу ВМН-2 приведеної до діапазону визначення ДМН (0,01+15 мН/м) становить $\gamma_{\sigma} = 1,1\%$.

З метою експериментальної перевірки похибки визначення ДМН приладом ВМН-2 розроблено методику атестації і повірки, в яких використовують розроблені і виготовлені зразкові зображення обертових крапель, на яких вказані розміри контурів вільних і фіксованих обертових крапель для різних значень ДМН і частот обертання трубки з рідинами (рис. 8). Зразкові зображення обертових крапель представлені на спеціальній прозорій плівці, яку в процесі повірки приладу ВМН-2 встановлюють у прилад замість скляної трубки із досліджуваними рідинами. В подальшому за допомогою оптичної системи і програмного забезпечення обробляють ці зображення, визначають МН і порівнюють його із даними, вказаними на зразкових зображеннях, на основі чого розраховують похибку визначення ДМН приладом ВМН-2.

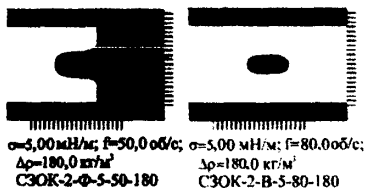


Рис. 8. Зразкові зображення обертових крапель

У п'ятому розділі основна увага приділена лабораторним і натурним

випробуванням приладу ВМН-2 для дослідження ДМН розчинів ПАР. Лабораторні випробування показали правильність теоретичних розробок, які покладені в основу приладу ВМН-2. Під час лабораторних випробувань крім перевірки працездатності приладу в цілому і його окремих блоків і вузлів були проведені дослідження ДМН водних розчинів різних ПАР (тіпол, савенол) на межі розділу із нафтою (рис. 9, а).

Результати лабораторних випробувань підтвердили похибку визначення ДМН приладом ВМН-2, можливість дослідження ДМН розчинів ПАР.

Під час проведення натурних випробувань приладу ВМН-2 в НДПІ ВАТ "Укрнафта" було досліджено ДМН водних розчинів різної концентрації сульфонулу і стінолу на межі розділу з газом (рис. 9, б). Отримані залежності ДМН вказаних ПАР дають можливість оптимально вибирати як тип ПАР, так і його концентрацію у водному розчині з прив'язкою до часу існування межі розділу фаз до конкретних виробничих умов, наприклад, оброблення привибійної зони пластів експлуатаційних свердловин.

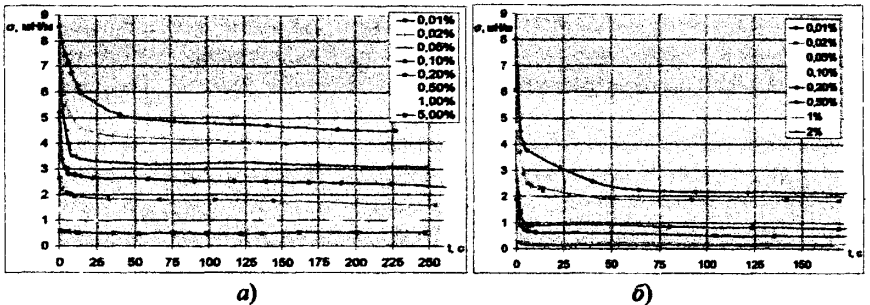


Рис. 9. Результати визначення ДМН водних розчинів ПАР різних концентрацій: а – тінолу межі з нафтою; б – стінолу на межі з газом

ВИСНОВКИ

В результаті проведених теоретичних та експериментальних досліджень вирішена важлива науково-прикладна задача, яка полягає в розробці методу фіксованої і удосконаленню методу вільної обертових крапель для визначення ДМН розчинів ПАР на межі їх контакту з нерозчинними в них рідинами, а також приладу, який реалізує визначення ДМН цими методами, що дозволяє здійснювати оптимальний вибір ПАР і його концентрації у розчинах, які використовують у різних процесах з урахуванням часу існування межі розділу розчин ПАР – технологічна рідина. При цьому отримані такі результати:

1. Проведений аналіз відомих модифікацій методу обертової краплі і приладів для визначення ДМН розчинів ПАР цим методом, на основі чого визначено основні недоліки цих модифікацій методу обертової краплі приладів, запропоновано розробляти такі методи визначення ДМН розчинів ПАР, які дозволять підвищити точність отримуваних результатів і проводити дослідження на малих частотах обертання трубки із досліджуваними рідинами.

2. Вперше розроблено метод фіксованої обертової краплі, який дозволяє підвищити точність визначення ДМН розчинів ПАР, проводити визначення ДМН розчинів ПАР при малих частотах обертання краплі (до 6000 об/хв.), не допускає неконтрольоване переміщення краплі легшої рідини в трубі з важчою рідиною під час їх обертання.

3. Удосконалено метод вільної обертової краплі визначення ДМН розчинів ПАР, який підвищує точність отримуваних результатів і дозволяє проводити дослідження при малих частотах обертання трубки із досліджуваними рідинами.

4. Вперше отримано залежності для визначення коефіцієнта оптичного збільшення обертової скляної трубки з контактуючими рідинами, які дозволяють підвищити точність визначення ДМН розчинів ПАР методами фіксованої і вільної обертових крапель.

5. Розроблено структуру і конструкцію приладу ВМН-2 і його окремих вузлів для визначення ДМН розчинів ПАР розробленим методом фіксованої і удосконаленим методом вільної обертових крапель, проведені лабораторні і натурні випробування розробленого приладу, які підтвердили працездатність запропонованих методів фіксованої і вільної обертових крапель. За допомогою приладу ВМН-2 можна здійснювати підбір ПАР і їх концентрації у розчинах, які використовують у різних технологічних процесах.

6. Здійснений метрологічний аналіз розробленого методу фіксованої і удосконаленого методу вільної обертових крапель, а також приладу для визначення ДМН розчинів ПАР цими методами. Розроблено методичку його метрологічної атестації і повірки. Сумарна приведена до діапазону вимірювання похибка визначення ДМН розчинів ПАР розробленим приладом складає $\gamma_{\sigma}=1,1\%$.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Білішук В. Б. Методика оброблення зображення обертової краплі при вимірюванні міжфазного натягу рідин / В. Б. Білішук, І. С. Кісіль, Р. Т. Боднар // Вісник національного технічного університету України "Київський політехнічний інститут" серія приладобудування. – 2008. – №36. – С. 76–83.

2. Кисиль И. С. Определение коэффициента увеличения оптической системы при измерении межфазного натяжения методом вращающейся капли / И. С. Кисиль, В. Б. Биляшук // Праці Луганського відділення Міжнародної Академії Інформатизації. – 2009. – №2(19). – ч. 1. – С. 82–87.

3. Білішук В. Б. Аналіз похибок методик розрахунку контурів обертових крапель в процесі вимірювання міжфазного натягу рідин / В. Б. Білішук, Р. Т. Боднар // Методи та прилади контролю якості. – 2009. – №22. – С. 37–42.

4. Крижанівський Є. І. Оптимальний вибір поверхнево-активних речовин і їх концентрації у розчинах для інтенсифікації видобутку нафти і газу / Є. І. Крижанівський, І. С. Кісіль, Р. Т. Боднар, В. Б. Білішук, Р. І. Кісіль // Нафтогазова енергетика. – 2009. – №2 (11). – С. 80–84.

5. Білішук В. Б. Удосконалений пристрій для утворення фіксованої обертової краплі при вимірюванні міжфазного натягу рідин / В. Б. Білішук, І. С. Кісіль. // Методи та прилади контролю якості. – 2010. – №24. – С. 50–53.

6. Кісіль І. С. Вимірювання динамічного міжфазного натягу розчинів поверхнево-активних речовин методикою фіксованої обертової краплі / І. С. Кісіль, В. Д. Михайлюк, В. Б. Білішук, І. Ю. Хемій // Нафтова і газова промисловість. – 2010.

– №6. С. 33–36.

7. Пат. 87766 Україна. МПК G 01 N 13/00. Спосіб визначення міжфазного натягу методом обертової краплі / В. Б. Біліщук, І. С. Кісіль; заявник і власник Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу. – № а 200800269; заявл. 08.01.2008; опубл. 10.08.2009, Бюл. №15.

8. Пат. на корисну модель 39871 Україна. МПК G 01 N 13/00. Спосіб визначення міжфазного натягу рідин методом обертової краплі / І. С. Кісіль, В. Б. Біліщук, Р. Т. Боднар; заявник і власник Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу. – № а 2008 00269; заявл. 19.11.2008; опубл. 10.03.2009, Бюл. №5.

9. Біліщук В. Б. Вимірювання динамічного міжфазного натягу методом обертової краплі / В. Б. Біліщук, І. С. Кісіль, Р. Т. Боднар // Збірник тез доповідей VI міжнародної науково-практичної конференції «Приладобудування 2007: стан і перспективи», 22-23 квітня 2007р., м. Київ, ПФФ, НТУУ «КПІ», 2007. С.282–283.

10. Біліщук В. Б. Методика оброблення зображення обертової краплі при вимірюванні міжфазного натягу рідин / В. Б. Біліщук, І. С. Кісіль, Р. Т. Боднар // Збірник тез доповідей VII міжнародної науково-практичної конференції «Приладобудування 2008: стан і перспективи», 22-23 квітня 2008р., м. Київ, ПФФ, НТУУ «КПІ», 2008. – с. 140.

11. Крижановский Е. И. Контроль качества растворов поверхностно-активных веществ для повышения нефтеотдачи пластов / Е. И. Крижановский, И. С. Кисиль, Р. Т. Боднар, В. Б. Билюк // Материалы IV Всероссийской научно-практической конференции "Нефтепромысловая химия", 26–27 июня 2008г. – г. Москва, Российский государственный университет нефти и газа им. И. М. Губкина, 2008. – С. 61–62.

12. Кісіль І. С. Методика калібрування приладу для вимірювання міжфазного натягу методом обертової краплі / І. С. Кісіль, В. Б. Біліщук // Наукові праці конференції "Метрологія та вимірювальна техніка", 14–16 жовтня 2008 р. – м. Харків, Національний науковий центр "Інститут метрології", 2008. – С. 95–97.

13. Кісіль І. С. Удосконалений пристрій для вимірювання динамічного міжфазного натягу рідин методом обертової краплі / І. С. Кісіль, В. Б. Біліщук, Р. Т. Боднар // Збірник тез доповідей VIII міжнародної науково-практичної конференції «Приладобудування 2009: стан і перспективи», 10-12 квітня 2009р., м. Київ, ПФФ, НТУУ «КПІ», 2009. с. 128.

14. Равський Ю. О. Розроблення вимірювального блоку приладу для визначення міжфазного натягу рідин методом обертової краплі / Ю. О. Равський, В. Б. Біліщук, І. Ю. Хемій // Збірник тез доповідей II науково-практичної конференції студентів та аспірантів "Погляд у майбутнє приладобудування", 10 квітня 2009 р. – м. Київ, ПФФ, НТУУ «КПІ», 2009. С. 159–160.

15. Біліщук В. Б. Удосконалена методика вимірювання міжфазного натягу розчинів поверхнево-активних речовин методом обертової краплі // Матеріали відкритої науково-технічної конференції молодих науковців і спеціалістів Фізико-механічного інституту ім. Г. В. Карпенка НАН України "Проблеми корозійно-механічного руйнування, інженерні поверхні, діагностичні системи", 28–30 жовтня 2009р. –

м. Львів, ФМІ, 2009. С. 283–286.

16. Крижанівський С. І. Оптимальний вибір поверхнево-активних речовин і їх концентрації у розчинах для інтенсифікації видобутку нафти і газу / С. І. Крижанівський, І. С. Кісіль, Р. Т. Боднар, В. Б. Білішук, Р. І. Кісіль // Анотації Міжнародної науково-технічної конференції "Нафтогазова енергетика: проблеми і перспективи", 20-23 жовтня 2009 р.– м. Івано-Франківськ. – 2009. – с. 82.

17. Хемій І. Ю. Розроблення алгоритму програми для розрахунку контуру обертової краплі при вимірюванні міжфазного натягу рідин / І. Ю. Хемій, В. Б. Білішук // Збірник тез доповідей 2-ої науково-практичної конференції студентів і молодих учених "Методи та засоби неруйнівного контролю промислового обладнання", 25–26 листопада 2009 р. – м. Івано-Франківськ, ІФНТУНГ, 2009. – с. 130.

18. Кісіль І. С. Виділення контура обертової краплі з отриманого її зображення при вимірюванні міжфазного натягу рідин / І. С. Кісіль, В. Б. Білішук // Збірник тез доповідей IV Міжнародної науково-технічної конференції "Сучасні проблеми радіоелектроніки, телекомунікацій та приладобудування", 8 – 10 жовтня 2009р. – м. Вінниця, Вінницький національний технічний університет, 2009.

19. Хемій І. Ю. Застосування комп'ютерних технологій для дослідження міжфазного натягу рідин / І. Ю. Хемій, В. Б. Білішук, Я. Б. Зебец // Збірник тез доповідей V науково-практичної конференції студентів та аспірантів "Ефективність інженерних рішень у приладобудуванні", 1 грудня 2009р. м. Київ, ПБФ, НТУУ «КПІ», 2009. – с. 67.

20. Хемій І. Ю. Удосконалений пристрій для формування краплі легкої рідини при вимірюванні міжфазного натягу методом обертової краплі / І. Ю. Хемій, В. Б. Білішук // Збірник тез доповідей III науково-практичної конференції студентів та аспірантів "Погляд у майбутнє приладобудування", 27–29 квітня 2010 р. – м. Київ, ПБФ, НТУУ «КПІ», 2010. – с. 229.

21. Кісіль І. С. Розроблення приладу для вимірювання динамічного міжфазного натягу рідин методикою фіксованої обертової краплі / І. С. Кісіль, В. Б. Білішук, Р. Т. Боднар // Збірник тез доповідей IX міжнародної науково-практичної конференції «Приладобудування 2010: стан і перспективи», 10-12 квітня 2010р., м. Київ, ПБФ, НТУУ «КПІ», 2009. с. 133–34.

22. Clemens N. Method of vibration reduction in mechanical unit of spinning drop tensiometer / N. Clemens, V. B. Biliszyk, M. V. Ivanchyshyn, F. Landerer // Збірник тез доповідей VI науково-практичної конференції студентів та аспірантів "Ефективність інженерних рішень у приладобудуванні", 24 листопада 2010р. м. Київ, ПБФ, НТУУ «КПІ», 2010. – с. 36.

23. Кісіль І. С. Підбір оптимальних концентрацій у розчинах поверхнево-активних речовин для інтенсифікації нафтовилучення шляхом вимірювання міжфазного натягу цих розчинів / І. С. Кісіль, В. Б. Білішук // Збірник тез доповідей науково-практичної конференції "Підвищення ефективності буріння свердловин та інтенсифікації нафтогазовидобутку на родовищах України", 16–18 листопада 2010р. м. Івано-Франківськ, ІФНТУНГ, 2010. – с. 185 – 187.

24. Кісіль І. С. Вимірювання динамічного міжфазного натягу методом фіксованої обертової краплі / І. С. Кісіль, В. Б. Білишук // Збірник тез доповідей науково-практичної конференції "Підвищення ефективності буріння свердловин та інтенсифікації нафтогазовидобутку на родовищах України", 16–18 листопада 2010р. м. Івано-Франківськ, ІФНТУНГ, 2010. – с. 167 – 171.

АНОТАЦІЯ

Білишук В. Б. Удосконалені методи обертової краплі та пристрій для дослідження динамічного міжфазного натягу розчинів поверхнево-активних речовин. – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.11.13 – прилади і методи контролю та визначення складу речовин. – Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, Івано-Франківськ.– 2011.

У дисертації розроблено метод фіксованої і удосконалено метод вільної обертових крапель для дослідження ДМН розчинів ПАР. У вказаних методах з метою визначення ДМН рідин використовують координати точок експериментального контуру обертової краплі, які отримують на основі її зображення. Розроблений регресійний спосіб розрахунку координат точок теоретичного контура обертової краплі, який є подібним до контуру обертової краплі на зображенні. Запропоновано залежності для розрахунку коефіцієнта оптичного збільшення, що створює трубка із рідинами, які дозволяють підвищити точність визначення координат точок і визначення ДМН вказаними методами. Запропоновано структурну схему і розроблено прилад для визначення ДМН розчинів ПАР. Виконано метрологічний аналіз розробленого приладу для визначення динамічного ДМН розчинів ПАР. Визначено сумарну похибку визначення МН розробленим приладом. Проведені лабораторні і натурні випробування розробленого приладу, які підтвердили його працездатність і можливість використання для вибору ПАР і їх концентрацій у розчинах для різних технологічних рідин, де використовують ПАР.

Ключові слова: міжфазний натяг, обертова крапля, поверхнево-активна речовина, розчин, контур, координати.

АННОТАЦИЯ

Билишук В. Б. Усовершенствованные методы вращающейся капли и устройство для исследования динамического межфазного натяжения растворов поверхностно-активных веществ. – Рукопись.

Диссертация на получение научной степени кандидата технических наук за специальностью 05.11.13 – приборы и методы контроля и определения состава веществ. – Ивано-Франковский национальный технический университет нефти и газа, Ивано-Франковск.– 2011.

В диссертации разработан метод фиксированной и усовершенствован метод свободной вращающихся капель для исследования динамического межфазного

натяжения жидкостей. В указанных методах с целью определения межфазного натяжения жидкостей используют координаты точек экспериментального контура вращающейся капли, которые получают на основе ее изображения. Разработан регрессионный способ расчета координат точек теоретического контура вращающейся капли, который является подобным к контуру вращающейся капли на изображении. Предложены зависимости для расчета коэффициента оптического увеличения, что создает трубка с жидкостями, которые позволяют повысить точность определения координат точек и определения межфазного натяжения этими методами. Предложена структурная схема и разработан прибор для исследования динамического межфазного натяжения растворов поверхностно-активных веществ. Выполнен метрологический анализ разработанного прибора для измерения динамического межфазного натяжения растворов поверхностно-активных веществ. Определен суммарную погрешность определения межфазного натяжения разработанным прибором. Проведены лабораторные и натурные испытания разработанного прибора, которые подтвердили его работоспособность и возможность использования для выбора поверхностно-активных веществ и их концентраций в растворах для разных технологических жидкостей, где используют поверхностно-активные вещества.

Ключевые слова: межфазное натяжение, вращающаяся капля, поверхностно-активное вещество, раствор, контур, координаты.

ANNOTATION

Bilishchuk V. B. Improved methods of spinning drop and device for investigating dynamic tension of surfactant solutions. – A Manuscript.

The thesis for technical sciences candidate's degree in speciality 05.11.13 – devices and methods of control and determination of composition substances. – Ivano-Frankivsk national technical university of oil and gas, Ivano-Frankivsk.– 2011.

The fixed and free rotating drop methods are developed in the thesis. Experimental rotating drop shape, which is obtained from its image, is used for determination interfacial tension of liquids. The method of regression calculating theoretical rotating drop shape, which is similar to experimental one, is developed. Dependences for computation of factor optical magnification, that created by tube with liquids, is offered. This dependences allow improve accuracy shape points coordinates determination and determination of interfacial tension by developed methods. Block schematic diagram and device for measuring dynamic interfacial tension of surfactants is developed. The metrological analysis of produced device is made. Summary mistake of determination interfacial tension by produced device is calculated. The laboratory and full-scale tests of produced device is made. This tests confirm working capacity and ability to use produced device for selecting surfactants end its concentration in solution for various technological fluids, where surfactants are used.

Keywords: interfacial tension, rotating drop, surfactant, shape, coordinates.