

532.6

Г 68

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

**Горелов Віталій Олевтинович**



532.6+53.08(04)

УДК 681.2

Г68

**РОЗРОБКА УДОСКОНАЛЕНИХ МЕТОДИК І ПРИЛАДУ  
ДЛЯ ВИМІРЮВАННЯ ПОВЕРХНЕВОГО НАТЯГУ РІДИН І РОЗЧИНІВ  
МЕТОДОМ ЛЕЖАЧОЇ КРАПЛІ**

**05.11.13 – Прилади і методи контролю  
та визначення складу речовин**

**АВТОРЕФЕРАТ  
дисертації на здобуття наукового ступеня  
кандидата технічних наук**

**Івано-Франківськ – 2003**

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана на кафедрі “Методи та прилади контролю якості і сертифікації продукції” Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу Міністерства освіти і науки України.

*Науковий керівник:*

доктор технічних наук, професор  
**Кісіль Ігор Степанович,**  
Івано-Франківський національний технічний університет  
нафти і газу, завідувач кафедри “Методи та прилади  
контролю якості і сертифікації продукції”.

*Офіційні опоненти:*

доктор технічних наук, професор  
**Горбійчук Михайло Іванович,**  
професор Івано-Франківського національного  
технічного університету нафти і газу.

кандидат технічних наук, доцент  
**Теплюх Зеновій Миколайович,**  
доцент національного університету “Львівська політехніка”.



*Провідна установа:*

**Фізико-механічний інститут ім. Г. В. Карпенка НАН України.**

Захист відбудеться **“03” липня 2003р.** о 10 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д20.052.03 при Івано-Франківському національному технічному університеті нафти і газу (вул. Карпатська

Відгуки на дисертацію у двох примірниках, прошимо надсилати за адресою: вченому секретарю спеціалізованої вченої ради Д20.052.03, вул. Карпатська, 15, Івано-Франківськ, 76019.

3 дисертації надіслані до спеціалізованої вченої ради Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу.

Автореферат

Вчений секретар  
кандидат технічних наук

М. М.

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

**Актуальність теми.** Рідини, розчини, тверді тіла і гази взаємодіють між собою завдяки наявності контактів між ними, а результати таких взаємодій залежать від фізико-хімічних властивостей на межах цих контактів, від об'ємних властивостей контактних фаз і умов, при яких відбувається взаємодія. Поверхневий натяг визначає питому вільну поверхневу енергію рідини на межі контакту рідина – оточуючий газ і є тим параметром, значення якого у багатьох випадках (газовидобування, хімічна промисловість, фармацевтична та інші галузі народного господарства) є визначальним. Вимірювання цього параметра дозволяє передбачити кінцевий результат і оперативно здійснювати керування технологічними процесами, у яких фізико-хімічні параметри на межі контакту рідина-повітря газ відіграють важливу роль. Особливо важливу роль відіграє поверхневий натяг у таких технологічних процесах, де використовуються розчини ПАР, наприклад, при інтенсифікації видобування газу, при виготовленні миючих засобів, при розробці і виробництві поверхнево-активних речовин різних функціональних призначень.

Слід зазначити, що поверхневий натяг залежить не тільки від конкретних властивостей контактуючих фаз (концентрації ПАР у розчинах, їхньої в'язкості тощо), а також і від умов, при яких контактують фази, особливо від температури, тиску.

Вказане є предметом теоретичних досліджень таких наук, як: фізична хімія, колоїдна хімія. Наявність досконалих приладів для вимірювання поверхневого натягу дозволяє підтвердити отримані теоретичні результати з одного боку, а також, з врахуванням конкретних властивостей рідкої і газової фаз і умов їхнього контакту, експериментально дослідити поведінку цих фаз шляхом одержання динамічних залежностей і рівноважних значень з іншого боку.

Залежно від властивостей фаз і умов їхнього контакту поверхневий натяг реально може змінюватися у діапазоні від 15 до 75 мН/м.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.** Дисертаційні дослідження безпосередньо пов'язані із виконанням у Івано-Франківському національному технічному університеті нафти і газу (ІФНТУНГ) держбюджетної теми Д4-01-Ф по Міністерству освіти і науки України „Наукові основи контролю, управління і екологічного моніторингу об'єктами нафтогазового комплексу України” та госпдоговірної теми №243/01 „Організація проведення обробок привибійних зон пластів нафтових свердловин водяними розчинами поверхнево-активних речовин”.

**Мета роботи полягає** у розробці теоретичних, методологічних основ та технічних засобів вимірювання поверхневого натягу рідин і розчинів ПАР на межі контакту рідина – повітря методом лежачої краплі.

Відповідно до поставленої мети **завдання** дослідження є такими:

- аналіз існуючих методик і технічних засобів вимірювання поверхневого натягу методом лежачої краплі;
- аналіз процесу утворення методики розрахунку геометричних параметрів лежачої краплі;



- розробка моделі проходження променів світла через лежачу краплю та утворення її тінювого зображення у процесі вимірювання поверхневого натягу;
- розробка удосконалених методик вимірювання поверхневого натягу методом лежачої краплі;
- розробка приладу для вимірювання поверхневого натягу, що реалізує розроблені методики і аналіз його метрологічних характеристик;
- розробка методики проведення лабораторних досліджень удосконалених методик вимірювання поверхневого натягу і приладу, що їх реалізує.

**Об'єкти дослідження:** чисті рідини, розчини ПАР.

**Предмет дослідження:** методики і засоби вимірювання поверхневого натягу на межі розділу рідина – повітря методом лежачої краплі.

**Наукова новизна одержаних результатів** полягає у наступному:

- вперше розроблено математичну модель процесу утворення лежачої краплі рідини при вимірювання поверхневого натягу, на основі якої можна розрахувати геометричні розміри лежачої краплі рідини у залежності від її фізико-хімічних параметрів;
- вперше розроблено і теоретично обґрунтовано визначення поверхневого натягу рідини, яке базується на вимірюванні радіусів кривизни поверхні лежачої краплі у взаємно-перпендикулярних площинах для довільної точки, що належить профілю краплі, та у її вершині;
- вперше розроблено і теоретично обґрунтовано вимірювання поверхневого натягу рідини, яке базується на вимірюванні екваторіального діаметра та площі профілю верхньої частини лежачої краплі, обмеженої цим діаметром та вершиною краплі;
- розроблено і теоретично обґрунтовано принцип оцінки методичних похибок відомих і розроблених методик вимірювання поверхневого натягу методом лежачої краплі.

**Практичне значення одержаних результатів.** Теоретичні, методологічні та експериментальні дослідження дозволили отримати такі практичні результати, які наведені у роботі:

- розроблений прилад ВПНО-1 для вимірювання поверхневого натягу рідин і розчинів методом лежачої краплі згідно з удосконаленими методиками вимірювання;
- розроблено програмне забезпечення мовою Visual C++, яке дозволяє керувати процесом вимірювання поверхневого натягу приладом ВПНО-1, здійснювати запам'ятовування контурів лежачої краплі, проводити подальшу обробку цих контурів із визначенням значень поверхневого натягу і представленням результатів у необхідній формі;
- здійснена оцінка інструментальної і сумарної похибок приладу ВПНО-1. Показано, що сумарна похибка вимірювання поверхневого натягу не перевищує 1,5%;
- розроблена методика звіряння (повірки) приладу ВПНО-1 з використанням еталонних рідин і атестованих твердих тіл з відповідною формою їхніх поверхонь;
- розроблено методики підбору ПАР і їхньої концентрації у розчинах за допомогою приладу ВПНО-1 у залежності від функціонального призначення цих розчинів;
- результати проведення вимірювань поверхневого натягу приладом ВПНО-1 впроваджені з метою вибору концентрації ПАР типу Ріпокс-6 у розчинах для обробки привибійних зон нафтових свердловин у ГПУ "Полтавагазвидобування".

**Вірогідність результатів.** Вірогідність отриманих наукових результатів зумовлена коректністю виконання теоретичних досліджень з використанням теорії капілярності Лапласа і Юнга, методики розв'язку диференціальних рівнянь капілярності методом Рунге-Кутта, методу апроксимації згладжуючими сплайнами, а також теоретичних основ метрології.

Вірогідність отриманих результатів експериментальних досліджень зумовлена коректністю виконання експериментів і підтверджується відповідною збіжністю з результатами теоретичного аналізу, а також результатами впровадження розроблених методик і приладу ВПНО-1.

**Особистий внесок здобувача.** Основна частина теоретичних та експериментальних досліджень, висновки і рекомендації виконані автором самостійно. Автором проаналізовано існуючі методики та прилади для вимірювання поверхневого натягу рідин і розчинів методом лежачої краплі; сформована мета і задачі досліджень; проаналізований процес утворення лежачої краплі; розроблено методику розрахунку геометричних параметрів лежачої краплі, виконано розрахунок і проаналізовано отримані результати; розроблено і теоретично обґрунтовано методики вимірювання поверхневого натягу рідин на основі значень радіусів кривизни капілярної поверхні у точках, що належать профілеві краплі та на основі її екваторіального діаметра і площі профілю краплі від екваторіального діаметра до її вершини; удосконалено модель утворення тіньового зображення лежачої краплі; розроблена структурна схема приладу для вимірювання поверхневого натягу рідин; розроблена методика оцінки методичних похибок відомих і запропонованих методик вимірювання поверхневого натягу; розроблено прилад ВПНО - 1 для вимірювання поверхневого натягу рідин згідно із удосконаленими методиками; здійснено метрологічних аналіз приладу ВПНО-1.

**Апробація результатів дисертації.** Основні положення дисертаційної роботи обговорювалися на н/т конференціях професорсько-викладацького складу ІФНТУНГ (2000-2002 р.р.); на наукових семінарах кафедри МПКЯіСП ІФНТУНГ (1999-2002р.р.); на н/т конференції „Підвищення ефективності використання поверхнево-активних речовин в нафтогазовидобутку” (м. Івано-Франківськ, 2000 р.); на VIII н/т конференції „Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах” (м. Хмельницький, 2001 р.); на IX н/т конференції „Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах” (м. Хмельницький, 2002 р.); на н/т конференції „Приладобудування 2002: підсумки і перспективи” (м. Київ, 2002р.); на н/т конференції „Нафта і газ України 2002” (м. Київ, 2002).

**Публікації.** Результати роботи висвітлені у 7 статтях у фахових наукових журналах (2 статті одноособові), у 3 збірниках матеріалів і тез н/т конференцій, 1 збірнику наукових праць, 1 деклараційному патентові України.

**Структура дисертації.** Дисертація складається із вступу, п'яти розділів, висновків, переліку використаних джерел із 95 найменувань та 10 додатків і викладена на 150 сторінках. Робота проілюстрована 47 рисунками, включає 10 таблиць і додатки на 35 сторінках.

## ОСНОВНИЙ ЗМІСТ ДИСЕРТАЦІЇ

У **вступі** вказана сутність наукової проблеми, її стан та значущість для народного господарства, показаний зв'язок з науковими темами, сформульовані мета та задачі досліджень,

подані наукова новизна і практичне значення отриманих результатів, визначений особистий внесок здобувача, вказана інформація про публікації по результатах роботи та про їхню апробацію.

У *першому розділі* наведено характеристики об'єкту досліджень – чистих рідин, розчинів ПАР, які контактують із повітрям, результат взаємодії яких суттєво впливає на техніко-економічні показники відповідних технологічних процесів.

Показано, що поверхневий натяг (ПН) рідин на межі їхнього контакту із повітрям впливає на зазначені показники і дозволяє здійснювати оперативний контроль за такими процесами.

Значна увага приділена аналізу відомих методів вимірювання ПН на межі контакту чистих рідин, розчинів ПАР із повітрям і показано, що для вимірювання ПН у діапазоні його зміни від 15 до 75 мН/м, що має місце у реальних умовах і системах, можна використовувати метод лежачої краплі, який базується на вимірюванні геометричних параметрів лежачої краплі – краплі рідини, що сформована на горизонтальній пластині або верхньому торці вертикально встановленого товстостінного чи ножового (із загостреною кромкою) капіляра. З поміж існуючих методик увагу звернуто на методики Дорсі, Ю. М. Івашенка та В. Н. Єрмоєнка, В. І. Мелік-Гайказяна та В. В. Ворончіхіної, К. Ліонса, І. Елбінга, І. Вільсона (Lyons C. J., Elbing E., Wilson I. R.), детальний аналіз яких наведений у роботі і який показав, що кожна з них має свої переваги і недоліки.

Недоліком реалізації методу лежачої краплі Дорсі є потреба вимірювати координати точок, через які проведено дотичні до профілю краплі, що перетинаються із горизонтальною віссю під певним кутом. Крім неминучої похибки вимірювання координат точок, у цьому випадку виникатиме похибка встановлення цього кута, пов'язана із відхиленням вісі обертання краплі від вертикалі. Проведення вимірювання поверхневого натягу вказаним способом вручну, безперечно, вноситиме суб'єктивний фактор у його результати, оскільки візуально важко контролювати точність проведення дотичних до контуру під певним кутом.

У методиці Ю. М. Івашенка та В. Н. Єрмоєнка знову доводиться стикатися із дотичними до профілю лежачої краплі. Автоматизація такого процесу вимірювання поверхневого натягу ускладнена трудностю забезпечення повної осесиметричності лежачої краплі, а також абсолютної горизонтальності основи, на якій формується краплі.

Недоліком реалізації методу В. І. Мелік-Гайказяна та В. В. Ворончіхіної є необхідність фіксації точки вершини краплі, що у випадку плоских крапель важко здійснити.

Розглянуті варіанти методу лежачої краплі представляють собою шляхи реалізації задачі, метою якої є: отримання із експерименту мінімального числа вимірюваних величин, за допомогою яких можна було б записати додаткові красві умови і забезпечити цим однозначний розв'язок задачі — отримання капілярної постійної  $a^2$ , а значить, і поверхневого натягу  $\sigma$ . Схема пошуку  $a^2$  (і  $\sigma$ ) наступна: на реальному профілі меніска виділяються дві точки (або одна з відомим кутом нахилу дотичної), через який проводять деякий теоретичний профіль, що характеризується двома параметрами —  $b$  (радіусом кривизни капілярної поверхні при вершині краплі) і  $a^2$ . Значення другого з них необхідно знайти. При цьому знання всього профілю  $z(x)$  зайве.

З точки зору точності (а не простоти експерименту) очевидно, що даний підхід не використовує всі резерви, що має метод лежачої краплі. Якщо зняти з профілю, що спостерігається

в досліді, не одну чи дві, а значно більше точок, то шляхом мінімізації відхилення теоретичного профілю від експериментальних точок можна було б знизити вплив випадкових похибок, що супроводжують експеримент.

Проведено аналіз впливу зовнішніх умов на ПН рідин та їхніх розчинів. Показано, що із зростанням температури ПН зменшується. Температурний коефіцієнт  $\frac{d\sigma}{dT}$  для кожної чистої рідини має практично постійне від'ємне значення аж до температур, близьких до критичної. З урахуванням вказаних вище факторів, а також сучасних розробок відеотехніки і стану засобів обчислювальної техніки розроблено вимоги до методики і приладу для вимірювання поверхневого натягу методом лежачої краплі.

У *другому розділі* розроблені основні теоретичні положення, на яких ґрунтуються запропоновані методики вимірювання ПН рідин методом лежачої краплі.

Одержання математичного опису процесу формування лежачої краплі базується на відомому рівнянні капілярності Лапласа та аналізові геометричних параметрів краплі. У результаті отримано наступну систему рівнянь, розв'язок якої дає набір площинних координат точок, які характеризують меридіанний переріз краплі:

$$\begin{cases} \frac{d\varphi}{dl} = 2/b - \frac{\sin \varphi}{x} + \frac{2}{a^2} z, \\ \frac{dx}{dl} = \cos \varphi, \\ \frac{dz}{dl} = \sin \varphi, \end{cases} \quad (1)$$

де  $\varphi$  – кут нахилу дотичної до профілю лежачої краплі у даній точці;  $l$  – довжина дуги профілю краплі від омболічної точки до розглядуваної;  $x, z$  – відповідно горизонтальна і вертикальна координати точки профілю;  $a^2 = 2\sigma/\Delta\rho g$  – капілярна постійна;  $\Delta\rho$  – різниця густин краплі і навколишнього повітря;  $g$  – гравітаційна стала. Початковими умовами для розв'язку системи рівнянь (1) при  $\varphi = 0$  є такі:  $x = z = 0$ ,  $R_1 = R_2 = b$ , де  $R_1$  і  $R_2$  – радіуси кривизни поверхні в точці поверхні краплі, що розглядається, у взаємно-перпендикулярних перерізах, один із яких є меридіанним;  $b$  – радіус кривизни у вершині краплі.

Систему рівнянь (1) можна записати у безрозмірному вигляді (2), розділивши кожний із лінійних параметрів на  $a$ . При цьому вводиться так званий коефіцієнт форми краплі  $\beta = b_0^2/a^2$  – параметр, який визначає профіль краплі. Оперувати безрозмірними параметрами зручно, оскільки відпадає потреба розглядати комбінації  $a$  та  $b$ , а можна задаватися тільки коефіцієнтом  $\beta$ . Такий підхід значно спрощує аналіз можливих форм профілю лежачої краплі і надає методикам, що реалізують метод лежачої краплі, універсальності.

Методом Рунге-Кутта 4-го порядку здійснений розв'язок системи рівнянь (2) з розробкою блок-схеми алгоритму і програми розв'язку. Зміна параметра  $\beta$  дозволяє досліджувати зміну геометрії краплі у процесі її росту. (рис. 1).

$$\begin{cases} \frac{d\varphi}{dl_1} + \frac{\sin \varphi}{x_1} = \frac{2}{\sqrt{\beta}} + 2z_1 \\ \frac{dx_1}{dl_1} = \cos \varphi \\ \frac{dz_1}{dl_1} = \sin \varphi \end{cases} \quad (2)$$

де  $l_1 = l/a$ ,  $z_1 = z/a$ ,  $x_1 = x/a$ .

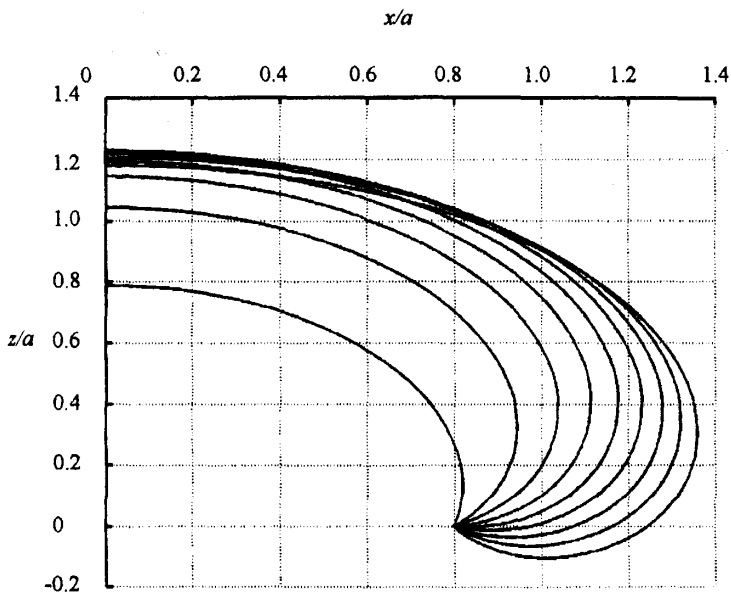


Рис. 1. Процес утворення краплі на торці вертикально встановленого ножового капіляра.  
Безрозмірний радіус капіляра:  $0,8/a$

Аналіз проведених розрахунків показує, що у процесі росту при зміні  $\beta$  від 0,1 до 10 розміри краплі змінюються у межах: висота екватора – від  $0,3/a$  до  $0,95/a$ , екваторіальний діаметр краплі – від  $0,6/a$  до  $3,3/a$ .

Моделювання процесу формування краплі сприяє виявленню особливостей розроблених методик. З рис. 1 видно, наприклад, що проведення вимірювань можливе для крапель, дотичні до меридіанів яких у точці контакту із капіляром утворюють з горизонталлю кут, менший за  $180^\circ$ . Такий висновок очевидний, оскільки вимірювання параметрів лежачої краплі здійснюється на основі її тіньового зображення. Тому у випадку, коли значення вказаного кута перевищить  $180^\circ$ , площина капіляра стане закритою поверхнею рідини. Це призведе до того, що з поля зору дослідника зникне точка відліку.

Отримані табличні дані, які приведені у додатку до дисертаційної роботи, можуть бути використані для розробок різних методик вимірювання поверхневого натягу методом лежачої



краплі.

Вимірювання геометричних параметрів лежачої краплі здійснюється на основі її тіньового зображення. У розділі проаналізовано утворення тіньового зображення краплі на світлочутливій матриці приймального перетворювача і показано, що воно утворюється внаслідок неоднакового заломлення променів освітлювача при проходженні їх через межу розділу контактуючих середовищ (рідина та повітря) (рис. 2).

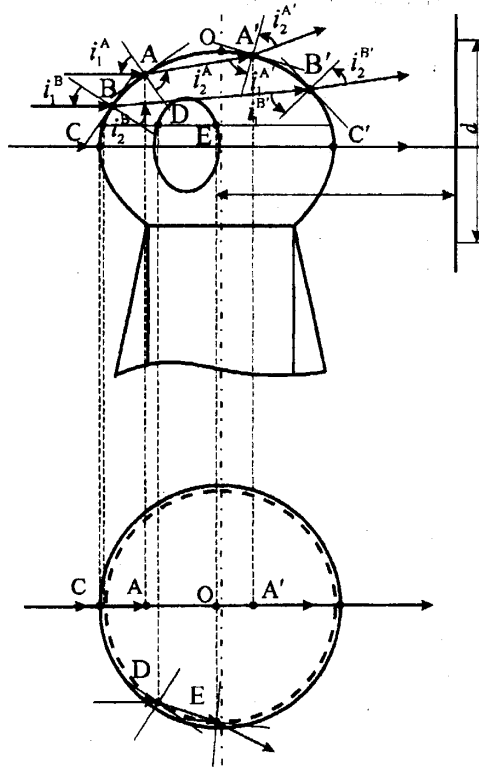


Рис. 2. Хід променів освітлювача в об'ємі рідини лежачої краплі

Точки А, В, С на рис. 2 належать меридіанному перерізові краплі. Промені перетинають межу розділу повітря – рідина під кутами  $i_1^A$ ,  $i_1^B$  та  $0^\circ$  (точка С). Заломлюючись відповідно під кутами  $i_2^A$ ,  $i_2^B$  до нормалей до поверхонь у даних точках, вони рухаються в об'ємі рідини, поки не перетнуть її поверхню у точках А', В', С' під кутами, що складають із нормальними до поверхні у даних точках кути  $i_1^{A'}$ ,  $i_1^{B'}$ ,  $0^\circ$  (точка С). Промінь, якому належать точки С, С' проходить через об'єм краплі без заломлення.

Після цього дані промені виходять з краплі, заломлюючись на межі розділу рідина – повітря під кутами  $i_2^{A'}$ ,  $i_2^{B'}$  до нормалей до поверхні. Далі вони рухаються у повітрі, поки не

потрапляють у площину об'єктива, що визначається розміром  $d$ . З рис. 2 видно, що промінь, якому належать точки  $A$  та  $A'$  не потрапляє у ці межі, тому точка з відповідними координатами на світлочутливій матриці відеокамери буде неосвітленою. А точка матриці, що знаходиться навпроти точки  $C$  буде освітленою максимально.

Таким чином, явище подвійного заломлення променів при проходженні їх через об'єм рідини лежачої краплі робить можливим вимірювання параметрів прозорого об'єкта, оскільки описане веде до утворення на світлочутливому приймальному елементі контрастного зображення лежачої краплі рідини.

Відзначено, що паралельність та монохроматичність променів освітлювача є наріжним каменем утворення адекватного тінювого зображення досліджуваної краплі.

Розроблено удосконалені методики вимірювання поверхневого натягу методом лежачої краплі.

Перша з них передбачає визначення радіусів кривизни капілярної поверхні у двох взаємно-перпендикулярних перерізах для довільної її точки, що знаходиться вище за екваторіальний діаметр краплі та радіуса кривизни поверхні краплі при вершині (в омболічній точці). При цьому залежність для розрахунку ПН  $\sigma$  на основі вказаних параметрів така:

$$\sigma = \frac{\Delta\rho g z}{1/R_1 + 1/R_2 - 2/b}. \quad (3)$$

Таким чином, для визначення  $\sigma$  згідно (3) необхідно попередньо визначити такі значення геометричних розмірів лежачої краплі:  $z$ ,  $R_1$ ,  $R_2$ ,  $b$ , а також різницю густин між рідиною у краплі та оточуючим газом (повітрям).

За наявності отриманого за допомогою відеотехніки на екрані монітора зображення профілю лежачої краплі (рис. 3) суть розробленої методики визначення поверхневого натягу на межі контакту рідина у краплі – навколишнє повітря полягає у наступному:

1) увесь профіль краплі розбивають на дві симетричні відносно вісі  $z$  частини, після чого кожна з них розбивають на  $j$  горизонтальних ділянок. Розбивку на окремі ділянки здійснюють пропорційно висоті краплі  $z$ . Профіль кожної із ділянок оцифровують, тобто за допомогою відеотехніки вимірюють координати  $z_{jk}$  і  $x_{jk}$  для всіх  $j=1, \dots, m$  і  $k=1, \dots, n$  ( $m$  – кількість ділянок на профілі лежачої краплі,  $n$  – кількість точок на кожній із ділянок). На основі отриманих таким чином координат  $(z_{j1}, z_{j2}, \dots, z_{jk})$  і  $(x_{j1}, x_{j2}, \dots, x_{jk})$  профілю кожної із  $j$ -ділянок (крім профілю, що включає т.  $O$ ) з достатньою точністю описуємо у вигляді певної поліноміальної залежності виду  $z_j = f(x)$ ;

2) розраховують значення параметрів  $(1/R_1)_j$  і  $(1/R_2)_j$  профілю краплі для серединної площини січення кожної  $j$ -ї ділянки за виключенням ділянки, що включає т.  $O$ . Для цього використовують такі відомі залежності

$$\frac{1}{R_1} = z_j'' / (1 + z_j'^2)^{3/2}, \quad (4)$$

$$\frac{1}{R_2} = z'_j / x(1 + z_j'^2)^{1/2}. \quad (5)$$

де  $z'_j$ ,  $z_j''$  – відповідно перша та друга похідні від функції  $z_j$  по  $x$ . Аналогічно знаходять радіус кривизни поверхні  $b$  при вершині краплі;

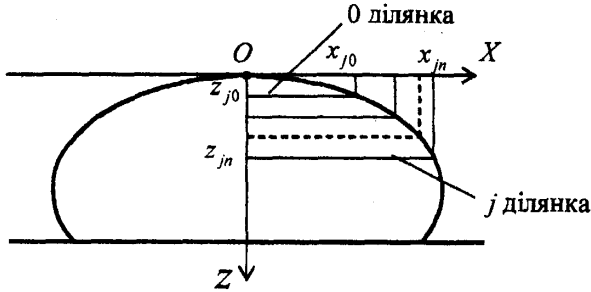


Рис. 2. Профіль лежачої краплі

3) на основі отриманих значень  $(1/R_1)$ ,  $(1/R_2)$ ,  $1/b$  розраховують значення поверхневого натягу  $\sigma$  для кожної із  $j$  ділянок за допомогою залежності (3), після чого знаходять усереднене значення  $\sigma$ .

Вимірювання поверхневого натягу рідин можна також здійснювати на основі значень площі меридіанного перерізу лежачої краплі та її екваторіального діаметра (рис. 4).

Площу верхньої частини краплі  $S/a^2$ , обмеженої екваторіальним діаметром і вершиною, знаходять, скориставшись методом Сімпсона (парабол) (рис. 5). При цьому за нульовий відлік вертикальної осі приймають рівень екваторіального діаметра.

На кожному кроці інтегрування відбувається за формулою (6)

$$\int_{x_{i-1}}^x f(d) dx \approx \frac{h}{6} (z_{i-1} + 4z_{i-1/2} + z_i), \quad (6)$$

де  $h$  – крок інтегрування, на який розбивається довжина екваторіального діаметра. Тоді повне значення шуканої площі буде рівним

$$\int_0^x f(d) dx \approx \sum_{i=1}^N \frac{h}{6} (z_{i-1} + 4z_{i-1/2} + z_i), \quad (7)$$

де  $N$  – кількість точок, які отримують у ході проведення сегментації відеозображення (виділення контуру лежачої краплі).

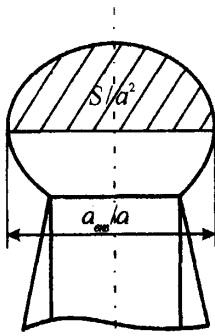


Рис. 4. Параметри лежачої краплі

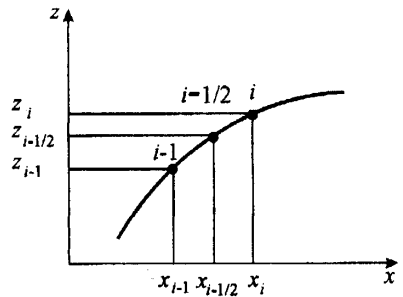
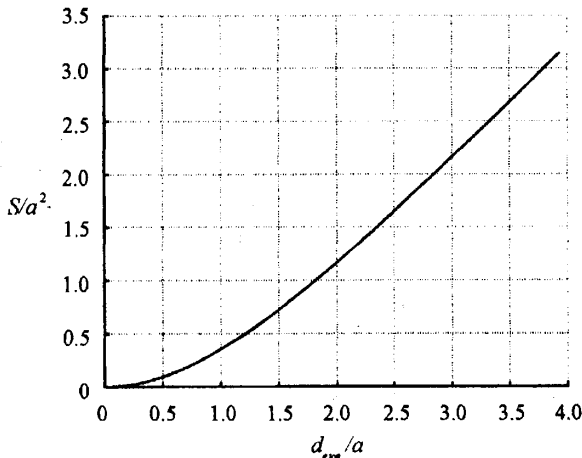


Рис. 5. Ділянка профілю лежачої краплі

У результаті проведення розрахунків ми отримуємо значення  $S/a^2$  для різних  $d/a$  (рис. 6). При проведенні розрахунків параметр  $\beta$  змінювався від 0,1 до 10, що відповідає значенням  $\beta$  для усіх реальних рідин і розчинів, поверхневий натяг яких необхідно вимірювати методом лежачої краплі.

Рис. 6. Залежність  $S/a^2$  від  $d_{ew}/a$ 

Таким чином, для знаходження значення  $a^2$  досліджуваної рідини необхідно виміряти значення  $S$  та  $d_{ew}$  профілю лежачої краплі. Після чого, змінюючи у циклі значення  $a$  від  $a_{\min} = 1,41$  мм до  $a_{\max} = 3,84$  мм з кроком  $\Delta a$ , знаходять відповідні значення  $S/a^2$  та  $d_{ew}/a$ . Точка перетину такої залежності із графіком на рис. 6 дасть шукане значення  $a^2$ .

З урахуванням вищенаведеного розроблені вимоги до приладу з метою реалізації ним описаних вище методик вимірювання поверхневого натягу рідин: можливість проведення контролю  $\sigma$  при стабілізованій температурі 20°-60°; проведення досліджень з метою одержання залежності  $\sigma$  від часу існування межі розділу фаз впродовж від 5с до 1 год. і більше; можливість вимірювання відповідних розмірів лежачої краплі з абсолютною похибкою не більше 2 мкм; зменшення впливу вібрації на процес утворення лежачої краплі та проведення вимірювань відповідних її геометричних параметрів; автоматична обробка результатів вимірювання геометричних параметрів краплі з метою розрахунку значення  $\sigma$  і представлення цих результатів у необхідній формі (графічна, таблична тощо) як на екрані монітора комп'ютера, так і у друкованій формі; забезпечення відповідних конструктивних розмірів ножового капіляра; можливість запам'ятовування профілів лежачої краплі з метою їх обробки у подальшому і систематизації; одержання результатів контролю з абсолютною похибкою не більше 1,5%; забезпечення високої надійності результатів контролю  $\sigma$  (не менше 95%); забезпечення безперервної роботи приладу впродовж 8 год.; матеріал капіляра повинен бути вільним від забруднень; зручність при проведенні вимірювання  $\sigma$ , а також при обслуговуванні приладу.

**У третьому розділі** основна увага приділена розробці приладу для вимірювання ПН рідин згідно із запропонованими методиками.

Розроблена структурну схему приладу для вимірювання поверхневого натягу (прилад ВПНО-1), яка зображена на рис. 7 і включає механічні блоки, оптичну систему вимірювання відповідних розмірів лежачої краплі, електронний блок і комплект ЕОМ.

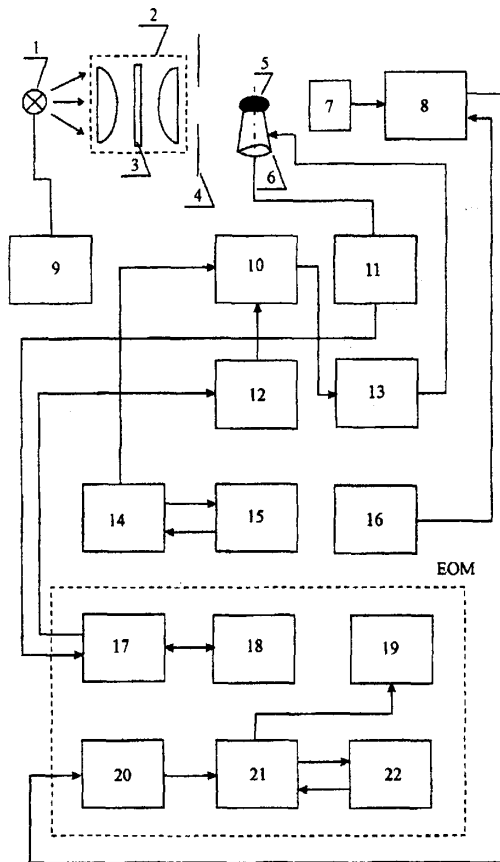
Розроблена оптична система вимірювання геометричних розмірів лежачої краплі з використанням телевізійної системи контролю. Проаналізовано способи підвищення контрасту зображення лежачої краплі, фільтрації шумів, а також виділення контуру краплі. Виділення контуру краплі здійснюється методом трасування контурів у поєднанні із апроксимацією рівнів яскравості уздовж рядків, що дозволяє удвічі підвищити роздільну здатність системи.

Розроблений алгоритм виділення контуру краплі, що зводиться до визначення відносних перепадів яскравості навколо поточної точки, яка знаходиться у центрі вікна розміром 3×3 пікселі. З урахуванням вищенаведеного розроблені алгоритми роботи окремих підпрограм пошуку контуру лежачої краплі, а також програма на мові Visual 6++ 6.0, яка крім пошуку контуру лежачої краплі здійснює керування процесом формування самої краплі і дозволяє як збільшувати, так і зменшувати її об'єм.

Розроблена методика проведення вимірювання поверхневого натягу приладом ВПНО-1, яка дозволяє користувачеві проводити усі необхідні операції у процесі вимірювання, а також до проведення вимірювань і після їх закінчення.

**Четвертий розділ** присвячений аналізу методичних похибок відомої і розроблених методик вимірювання поверхневого натягу методом лежачої краплі, а також аналізу похибок розробленого приладу ВПНО-1.

Оцінка методичної похибки методики Дорсі проведена шляхом розрахунку значень  $a^2/r_{\text{екв}}^2 = f(H_{\pi/4}/r_{\text{екв}})$  із розв'язку системи рівнянь (1) і порівнянням їх із відповідними значеннями, які отримуються за запропонованою Дорсі апроксимаційною залежністю.



1-джерело світла із живленням постійним струмом; 2 - коліматор, призначений для створення пучка параксiальних променiв; 3 - змiнний світлофiльтр, призначений для створення монохроматичного пучка променiв; 4 - дiафрагма, що служить для обмеження зони освiтленостi; 5 - лежача крапля; 6 - ножовий капiляр (капiляр із загостреною верхньою кромкою); 7 -мiкрооб'єктив; 8 - телевізійна камера; 9 - джерело живлення освiтлювача; 10 - блок формування краплi; 11 - блок давачiв екстремальних положень поршня блока формування краплi; 12 - блок керування процесом формування краплi; 13 - реверсивний двигун; 14 - компресор нагнiтання термостабiлізуючої рiдини; 15 - блок пiдтримання температури термостабiлізуючої рiдини; 16 - механiзм позицiонування телевізійної камери; 17 - паралельний порт комп'ютера; 18 - (EOM) програма керування процесом формування краплi; 19 - монiтор; 20 - пристрiй вiдеозахоплення (служить для введення стандартного телевізійного сигналу у комп'ютер); 21 - вiдеопам'ять; 22 - центральний процесор

Рис. 7. Структурна схема приладу ВПНО-1

Аналіз показав, що у діапазоні  $\beta = 5 + 10$  відносна методична похибка такої залежності лежить у межах  $\pm 0,5\%$ , а при  $\beta < 5$  різко збільшується і вже при  $\beta \approx 1$  перевищує  $1\%$ .

Визначення методичної похибки розробленої методики вимірювання поверхневого натягу, яка використовує значення радіусів кривизни капілярної поверхні здійснено шляхом розрахунку теоретичного профілю краплі у розмірних координатах і визначенні радіусів кривизни двома способами.

Перший спосіб забезпечує необхідними значеннями радіусів кривизни капілярної поверхні для точок, що належать профілеві краплі, безпосередньо із розв'язку системи:

$$\frac{1}{R_1} = \frac{d\varphi}{dl}; R_2 = \frac{x}{\sin\varphi} \quad (8)$$

Інший спосіб передбачає визначення відповідних параметрів шляхом апроксимації ділянок меридіанного перерізу капілярної поверхні лежачої краплі.

Після цього порівнювалися значення виразу  $z/(1/R_1 + 1/R_2 - 2/b)$ , отримані підстановкою необхідних параметрів, знайдених за двома способами.

Відносна методична похибка при цьому не перевищує  $0,15\%$ .

Оцінка методичної похибки іншої розробленої методики вимірювання поверхневого натягу проводилася шляхом розрахунку теоретичного профілю краплі у розмірних координатах згідно (1), визначенням значень  $S$  та  $d_{\text{екв}}$ , що відповідають конкретним значенням капілярної сталої  $a$ , визначенні  $a^2$  із залежності, наведеної на рис. 5 за вказаною методикою і порівнянням отриманих результатів. Відносна методична похибка цієї методики не перевищує  $0,08\%$ .

Проаналізовано схеми накопичення похибок приладу при реалізації ним двох методик. У результаті отримано, що сумарна похибка вимірювання поверхневого натягу з використанням значень радіусів кривизни на перевищує  $1,45\%$ , а у випадку використання значень площі меридіанного перерізу краплі та її екваторіального діаметра сумарна похибка на перевищує  $1,15\%$ .

Розроблено методику звіряння приладу ВПНО-1, в основу якої покладено використання атестованих калібрів відповідної форми і атестованої проби дистильованої води.

У *п'ятому розділі* розроблена методика проведення лабораторних випробувань розробленого приладу, наведені результати лабораторних випробувань приладу ВПНО-1, а також методика вибору ПАР і його концентрації у розчинах з врахуванням оптимальних результатів вимірювання ПН.

Лабораторні випробування проводилися із рідинами, ПН яких на межі контакту із повітрям відомі із літературних джерел. При цьому увага була звернута на відповідність фактичних параметрів приладу передбачуваним при його розробці. Отримані результати випробувань підтвердили збіжність вказаних вище параметрів (похибок вимірювання), що підтверджує справедливості теоретичних досліджень, проведених у роботі.

Значна увага звернута на методику підбору ПАР і його концентрації у розчинах для обробки привибійних зон експлуатаційних нафтових свердловин.

Суть методики полягає у наступному.

Готують проби водяних розчинів ПАР, наприклад Ріпоксу-6, на основі розчинника (газовий конденсат), з використанням якого передбачається у подальшому готувати розчини ПАР. Кількість проб зумовлена видом ПАР. Для Ріпоксу-6, наприклад, рекомендується готувати проби таких концентрацій: 2%; 2,5%; 3%; 3,5%; 4%; 4,5%; 5%; 5,5%; 6%.

Згідно із розробленою методикою проведення вимірювання поверхневого натягу приладом ВПНО-1 спочатку здійснюють підготовку приладу до проведення вимірювання. Далі заповнюють робочу ємність приладу пробую із найменшою концентрацією. Потім вибирають методику вимірювання (за радіусами кривизни капілярної поверхні або за значеннями площі та екваторіального діаметра). Проводять вимірювання ПН досліджуваної проби. Після заміни досліджуваної проби на пробу із вищою концентрацією проводять аналогічне вимірювання. Таким чином здійснюють вимірювання ПН усі підготованих проб Ріпоксу06. За оптимальну концентрацію Ріпоксу-6 у водянному розчині для обробки привибійних зон пластів вибирають таку концентрацію, збільшення якої вже не веде до зменшення поверхневого натягу.

Результати вимірювання ПН розчинів Ріпоксу-6 були використані для вибору його оптимальної концентрації у газовому конденсаті при обробці таким розчином привибійних зон експлуатаційних свердловин у ГПУ "Полтавагазвидобування".

Оптимальною для проведення обробок привибійних зон пласта є така концентрація ПАР у розчині, яка забезпечує найменше значення ПН на межі контакту із повітрям.

Аналогічні процедури вимірювання поверхневого натягу можна проводити для розчинів проб інших ПАР, наприклад, Міролу, Жиріноксу тощо.

## ОСНОВНІ ВИСНОВКИ ТА РЕЗУЛЬТАТИ

1. Проаналізовано відомі методики і прилади для вимірювання поверхневого натягу рідин та їхніх розчинів методом лежачої краплі Дорсі, Ю. М. Івашенко та В. Н. Єрьоменка, В. І. Мелік-Гайказяна та В. В. Ворончіхіної, К. Ліонса, І. Елбінга, І. Вільсона (Lyons C. J., Elbing E., Wilson I. R.). У результаті виявлені недоліки цих методик і приладів, серед яких слід відзначити високу чутливість до відхилення вісі обертання краплі від вертикалі, необхідність проведення дотичних до профілю лежачої краплі тощо.

2. Розроблено математичний опис процесу формування лежачої краплі у процесі вимірювання поверхневого натягу методом лежачої краплі на основі чого розроблено методику розрахунку параметрів лежачої краплі (радіусі капілярної поверхні у взаємо-перпендикулярних перерізах, екваторіального діаметри та площі верхньої частини краплі, обмеженої екваторіальним діаметром і вершиною (омболічною точкою).

3. Проаналізовано процес утворення тіньового зображення лежачої краплі, на основі якого вимірюються її геометричні параметри, що дозволило визначити умови отримання адекватного тіньового зображення для проведення необхідних вимірювань.



4. Розроблена методика вимірювання поверхневого натягу методом лежачої краплі на основі визначення радіусів кривизни капілярної поверхні для довільної точки, вертикальна координата якої знаходиться вище від екваторіального діаметра, та радіуса кривизни в омболічній точці (вершині лежачої краплі).

5. Розроблена методика вимірювання поверхневого натягу методом лежачої краплі на основі результатів вимірювання екваторіального діаметра профілю лежачої краплі та площі верхньої частини краплі, обмеженої екваторіальним діаметром і вершиною краплі.

6. Розроблена структурна схема, конструкція і програмне забезпечення приладу ВПНО-1, який реалізує розроблені методики вимірювання поверхневого натягу. Вказане є предметом деклараційного патенту, виданого ДП "Український інститут промислової власності".

7. Розроблена удосконалена методика виділення контуру лежачої краплі методом трасування контуру із попереднім проведенням апроксимації зміни яскравості уздовж рядка відеозображення краплі, що дозволяє підвищити точність вимірювання геометричних параметрів лежачої краплі.

8. Розроблена методика метрологічного аналізу відомої та розроблених методик вимірювання поверхневого натягу методом лежачої краплі. У результаті проведення такого аналізу здійснено порівняльний метрологічний аналіз цих методик, що дозволяє правильно їх використовувати у залежності від можливостей дослідника.

9. Здійснено аналіз схеми накопичення похибок розробленого приладу для вимірювання поверхневого натягу, визначено величини інструментальних похибок і сумарної похибки окремо для обох розроблених методик. Сумарна похибка при використанні значень радіусів кривизни лежачої краплі не перевищує 1,45%, а при визначенні площі та екваторіального діаметра – 1,15%.

10. Запропонована методика звірення похибок розробленого приладу для вимірювання поверхневого натягу з використанням відповідних калібрів і атестованих рідин.

11. Розроблена методика вибору поверхнево-активних речовин і їхніх концентрацій у розчинах з використанням розробленого приладу ВПНО-1 для вимірювання поверхневого натягу. Результати таких вимірювань використані при приготуванні розчинів ПАР Ріпокс-6 для обробки привибійних зон експлуатаційних нафтових свердловин у ГПУ "Полтавагазвидобування".

## СПИСОК ОПУБЛКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Горелов В. О., Кісіль І. С. Вибір методу для вимірювання динамічного поверхневого натягу. – Методи і прилади контролю якості. – 2000. – №5. – С. 92-99.

2. Горелов В. О., Кісіль І. С. Використання відеотехніки для вимірювання поверхневого натягу методом лежачої краплі. – Методи і прилади контролю якості. – 2000. – №6. – С. 37-39.

3. Горелов В. О. Способи апроксимації меридіональних перерізів капілярних поверхонь при визначенні поверхневого натягу методом лежачої краплі. // Методи і прилади контролю якості. – 2001. – №7. – С. 43-46.

4. Горелов В. О. Шляхи підвищення точності визначення поверхневого натягу рідин методом лежачої краплі. // *Методи і прилади контролю якості*. – 2002. – №8. – С. 47-50.
5. Горелов В. О., Кісіль І. С. Вибір методики сегментації капілярних поверхонь при визначенні поверхневого натягу на границях розділу фаз. // *Міжнародний н/т журнал “Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах”*. – 2001. – №8. – С. 55-58.
6. Горелов В. О., Кісіль І. С. Процес утворення лежачої краплі та вимірювання поверхневого натягу рідин однойменним методом. // *Вісник Національного університету “Львівська політехніка”*. – 2002. – №460. – С. 109-114.
7. Горелов В. О., Кісіль І. С. Застосування оптичної телевізійної системи для визначення поверхневого натягу рідин методом лежачої краплі. // *Вісник Національного технічного університету України “Київський політехнічний інститут”*. – 2002. – №24. – С. 53-56.
8. Горелов В. О. Спосіб визначення поверхневого натягу рідин на межі розділу рідина-повітря. // “Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах”. Збірник наукових праць. – 2002. – №8. т. 1. – С.117-119.
9. Горелов В. О., Кісіль І. С. Вимірювання поверхневих властивостей на границях розділу фаз. // *Матер. н/т конференції “Підвищення ефективності використання поверхнево-активних речовин в нафтогазовидобутку”*. – Івано-Франківськ, ІФДТУНГ. – 2000. С. 119-122.
10. Горелов В. О., Кісіль І. С. Прилад для вимірювання поверхневого натягу пенетрантів методом лежачої краплі. // *Матер. н/т конференції “Сучасні прилади, матеріали і технології для неруйнівного контролю і технічної діагностики промислового обладнання”*. – Івано-Франківськ, ІФНТУНГ. – 2002. С. 98-100.
11. Методика вимірювання поверхневого натягу методом лежачої краплі. // *Матер. н/т конференції професорсько-викладацького складу*. Івано-Франківськ, ІФДТУНГ. – 2000. – С.18-20.
12. Пат 48429А Україна, МКІ G01N12/02. Спосіб визначення поверхневого натягу і пристрій для його реалізації / Горелов В. О., Кісіль І. С. – №2001075192; заявл. 20.07.2001; опубл. 15.08.2002, Бюл. №8.

## АНОТАЦІЯ

**Горелов В. О. Розробка удосконалених методик вимірювання поверхневого натягу рідин і розчинів методом лежачої краплі. – Рукопис.**

Дисертація на здобуття вченого звання 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, 2003.

Дисертація присвячена дослідженню і розробці методик вимірювання поверхневого натягу рідин та їхніх розчинів на межі контакту рідина-оточуюче повітря.

Проаналізовано відомі методики і прилади для вимірювання поверхневого натягу рідин та їхніх розчинів методом лежачої краплі. Визначено їхні недоліки, проведено оцінку умов проведення вимірювання поверхневого натягу методом лежачої краплі.

Запропоновано методики вимірювання поверхневого натягу, одна з яких передбачає визначення радіусів кривизни капілярної поверхні у двох взаємно-перпендикулярних перерізах для довільної точки профілю краплі та у її вершині, інша – базується на вимірюванні значень екваторіального діаметра краплі та площі її верхньої частини, обмеженої екваторіальним діаметром та вершиною краплі. Здійснено математичний опис утворення лежачої краплі у процесі вимірювання поверхневого натягу. Розроблена модель утворення тіньового зображення лежачої краплі. Розроблений прилад для вимірювання поверхневого натягу рідин та розчинів, що реалізує розроблені методики вимірювання.

Ключові слова: методика, поверхневий натяг, метод лежачої краплі, контроль, похибка, поверхнево-активна речовина.

## АННОТАЦІЯ

**Горелов В. О. Разработка усовершенствованных методик измерения поверхностного натяжения жидкостей и растворов методом лежащей капли. – Рукопись.**

Диссертация на соискание учёной степени кандидата технических наук по специальности 05.11.13. – Приборы и методы контроля и определения состава веществ. – Ивано-Франковский национальный технический университет нефти и газа, Ивано-Франковск, 2003.

Диссертация посвящена разработке методик измерения поверхностного натяжения жидкостей и растворов на границе раздела жидкость – окружающий газ воздух, разработке математического описания формирования лежащей капли жидкости в процессе измерения поверхностного натяжения, исследованию телевизионной системы измерения размеров лежащей капли, разработке прибора, реализующего предложенные методики измерения поверхностного натяжения и разработке требований к нему, а также к методике использования результатов измерения поверхностного натяжения растворов поверхностно-активных веществ для технологических процессов интенсификации добычи нефти.

В первом разделе выполнен анализ известных методик Дорси, Ю. Н. Ивашенко и В. Н. Ерёмченко, В. И. Мелик-Гайказяна и В. В. Ворончихиной, К. Лионса, И. Елбинга и И. Вильсона (Lyons C. J., Elbing E., Wilson I. R.) и устройств для измерения поверхностного натяжения методом лежащей капли, определены их недостатки, оценены условия, при которых необходимо осуществлять измерение поверхностного натяжения методом лежащей капли, определены цель и задачи исследования.

Во втором разделе представлены разработанное математическое описание формирования лежащей капли в процессе проведения измерения поверхностного натяжения; разработана методика измерения параметров лежащей капли на основании полученных дифференциальных уравнений капиллярности, а также разработанные методики измерения поверхностного натяжения. Одна из них состоит в определении радиусов кривизны капиллярной поверхности в двух взаимно-перпендикулярных плоскостях для произвольной точки меридианного сечения лежащей капли и для вершины капли (омболической точки). Суть иной разработанной методики – измерение значения экваториального диаметра лежащей капли и площади верхней части капли,

ограниченной экваториальным диаметром и её вершиной. Раздел содержит описание формирования теневого изображения лежащей капли на светочувствительном приёмной матрице видеосистемы, используемой для измерения геометрических параметров лежащей капли. Показаны условия формирования адекватного теневого изображения лежащей капли. Разработана усовершенствованный метод сегментации капиллярной поверхности путём трассировки контура лежащей капли совместно с аппроксимацией яркости пикселей вдоль строки видеоизображения.

В третьем разделе описаны разработанный прибор ВПНО-1, который реализует предложенные методики измерения поверхностного натяжения. Прибор в своем составе имеет разработанную телевизионную систему измерения необходимых геометрических параметров образованной лежащей капли вместе с разработанным программным обеспечением. Проведён анализ и исследование элементов и процессов в телевизионной оптической системе определения контура лежащей капли, разработана методика проведения измерения поверхностного натяжения прибором ВПНО-1.

В четвертом разделе основное внимание уделено метрологическому анализу методических погрешностей известной и разработанных методик измерения поверхностного натяжения методом лежащей капли. Показано, что методические погрешности разработанных методик являются меньшими в сравнении с соответствующими погрешностями известными методик. Также в этом разделе оценены инструментальные погрешности прибора при использовании двух предложенных методик. Суммарная относительная погрешность прибора ВПНО-1 при измерении поверхностного натяжения путём определения радиусов кривизны капиллярной поверхности составляет 1,45%, а при измерении значения экваториального диаметра и площади меридианного сечения лежащей капли, ограниченной экваториальным диаметром и вершиной капли – 1,15%.

В пятом разделе приведены результаты лабораторных испытаний прибора ВПНО-1 для измерения поверхностного натяжения методом лежащей капли, методика использования результатов измерения для приготовления растворов поверхностно-активных веществ для технологического процесса обработки призабойной зоны продуктивного нефтеносного пласта нефтяной скважины.

Ключевые слова: методика, поверхностное натяжение, измерение, метод лежащей капли, поверхностно-активное вещество, прибор.

## ANNOTATION

**Goryelov V. O. The development of the improved procedures of fluids and solutions surface tension measurement by method of sessile drop. – The manuscript.**

Dissertation on competition of scientific degree of the candidate of engineering science at specialty 05.11.13 – Instruments and methods of control and material composition determination. – Ivano-Frankivsk national technical university of oil and gas, Ivano-Frankivsk, 2003.

Dissertation is dedicated to research and development of surface tension measurement procedures at the boundary of contact of fluid and gas and the device, that realizes corresponding developed procedures.

The known procedures of surface tension of fluids and solutions measurement by method of sessile drop are analyzed, their merits and demerits are determined.

Surface tension measurement procedures of application are suggested. The process of sessile drop's forming is analyzed and its mathematical description is given. The method of sessile drop parameters calculation is developed. These results are used for the development of surface tension measurement procedures. One of the developed procedures is based on calculation of two radiuses of curvature of a capillary surface for a point that belongs to the profile of a drop. Another assumes the measuring of the equatorial radius of a sessile drop and its square, limited by this radius and its top.

The device for surface tension of fluids and solutions measurement has been developed, metrological analyses of famous and developed surface tension measurement procedures by method of sessile drop are conducted.

Key words: method, surface tension, sessile drop method, measurement, surface-active material.