

ВИМІРЮВАННЯ ФІЗИКО-ХІМІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ

УДК 681.2

ВИМІРЮВАННЯ ПОВЕРХНЕВОГО НАТЯГУ ЧИСТИХ РІДИН І РОЗЧИНІВ МЕТОДОМ ЛЕЖАЧОЇ КРАПЛІ

© Горелов В. О., Дранчук М. М., 2003

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу

Розглянуто телевізійну систему для дослідження поверхневих властивостей чистих рідин і розчинів методом лежачої краплі. Показано методику підбору поверхнево-активних речовин для обробки привибійних зон пластів. Наведено результати метрологічного аналізу розробленого приладу.

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 (ПН) визначає питому вільну поверхневу енергію рідини на межі контакту рідина – оточуючий газ і є тим параметром, значення якого у багатьох випадках (нафтогазовидобування, 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 ПН у таких технологічних процесах, де використовуються розчини поверхнево-активних речовин (ПАР), наприклад, при інтенсифікації видобування нафти, газу, при виготовленні миючих засобів, при розробці і виробництві ПАР різних функціональних призначень.

При розробці приладу для вимірювання поверхневого натягу чистих рідин та розчинів ПАР необхідно брати до уваги, що метод, який приймається за основу, повинен бути теоретично обґрунтованим і бути незалежним від крайового кута змочування, оскільки останній дуже мінливий і його важко точно виміряти і врахувати.

Реальний діапазон зміни ПН речовин на межі розділу рідина – повітря становить 15...75 мН/м

Можливість автоматизації процесу вимірювання, підвищення точності результатів шляхом проведення багатократних вимірювань, усунення

впливу суб'єктивного фактору за рахунок використання телевізійних засобів контролю, проведення вимірювань у вказаному діапазоні можливих значень ПН зумовлюють вибір методу лежачої краплі і розробку удосконалених методик та приладу для вимірювання ПН цим методом.

Метод лежачої краплі полягає у формуванні краплі рідини на горизонтально встановленій пластинці або на верхньому торці вертикально встановленого товстостінного чи ножового (із загостреною кромкою) капіляра та інтерпретації вимірних геометричних параметрів сформованої краплі, що дозволяє знайти значення ПН рідини у краплі [1].

Параметри лежачої краплі, які беруться до уваги, можуть відрізнятися, вони повинні однозначно визначати профіль зображення досліджуваної лежачої краплі.

Одна із найважливіших задач, яка повинна бути вирішена з метою реалізації методу лежачої краплі – вимірювання координат точок, що належать межі розділу рідина – повітря. В основі одного із способів вимірювання координат точок контуру лежачої краплі лежить використання її тіньового зображення.

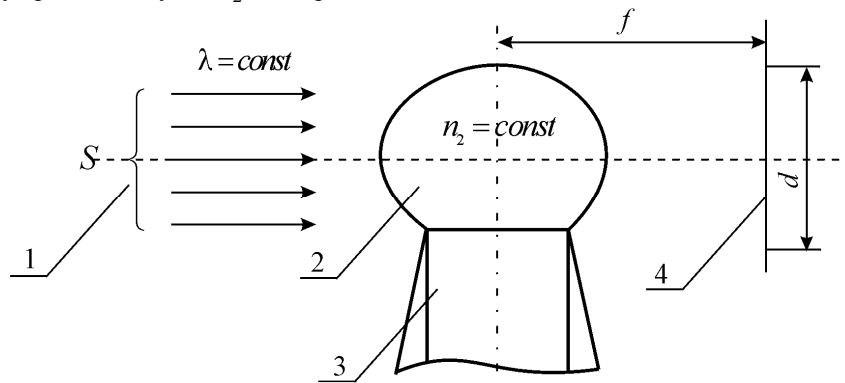
Проаналізуємо проходження світла через краплю рідини, утворену на торці вертикально встановленого ножового капіляра.

Розглянемо ідеальний варіант. Нехай промені світла поширюються паралельним монохроматичним пучком, що дозволить при розрахунку прийняти коефіцієнт заломлення рідини краплі $n_2 = const$ (рис. 1).

Рис.1 пояснює отримання тіньового зображення лежачої краплі на світлочутливій ПЗЗ-матриці відеокамери. Промінь світла, поширюючись у

просторі від джерела S , досягає краплі 2 під кутом i_1 , заломлюється на межі розділу повітря – рідина під кутом i_2 до нормалі до поверхні у даній точці і продовжує рух в об'ємі краплі. Досягнувши межі розділу рідина – повітря промінь, потрапляючи на межу під кутом i_1' до нормалі, заломлюється і виходить з об'єму краплі під кутом i_2' до нормалі до

поверхні у точці виходу. Після цього він продовжує свій рух у повітрі, поки не потрапить на площину об'єктива 4, що знаходиться на відстані, рівній фокусній віддалі об'єктива f від меридіанного перерізу краплі, яка обмежена величиною діаметра d .



1 – джерело параксимальних монохроматичних променів;
2 – лежача крапля; 3 – ножовий капіляр; 4 – екран (об'єктив)
Рис. 1. Проходження променів світла через лежачу краплю

Паралельність та монохроматичність променів освітлювача є наріжним каменем утворення адекватного тіньового зображення досліджуваної краплі.

Для вимірювання ПН рідин і розчинів розроблено удосконалені методики [2,3]. 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). Друга методика базується на вимірюванні екваторіального діаметра і визначенні площі профілю верхньої частини краплі, обмеженої цим діаметром і вершиною краплі. Використання другої методики дозволяє дещо зменшити сумарну похибку вимірювання ПН, оскільки площа – це інтегральний параметр, а радіуси кривизни знаходять шляхом диференціювання.

Для реалізації розроблених методик вимірювання ПН розроблено прилад ВПНО-1, структурна схема якого показана на рис. 2.

Вимоги до приладу ВПНО-1 є такими:

- можливість проведення вимірювання σ при стабілізованій температурі у діапазоні можливих значень $20^\circ \dots 60^\circ$;
- проведення досліджень з метою одержання залежності ПН від часу існування межі розділу фаз впродовж від 5с до 1 год.;
- можливість вимірювання відповідних розмі-

рів лежачої краплі з абсолютною похибкою не більше 2,5 мкм;

– зменшення впливу вібрації на процес утворення лежачої краплі і на проведення вимірювань відповідних її геометричних розмірів;

– автоматична обробка результатів вимірювання геометричних параметрів краплі з метою розрахунку значення ПН і представлення цих результатів у необхідній формі (графічна, таблична тощо) як на екрані монітора комп'ютера, так і у друкованій формі;

– можливість запам'ятовування профілів лежачої краплі з метою їх обробки у подальшому і систематизації;

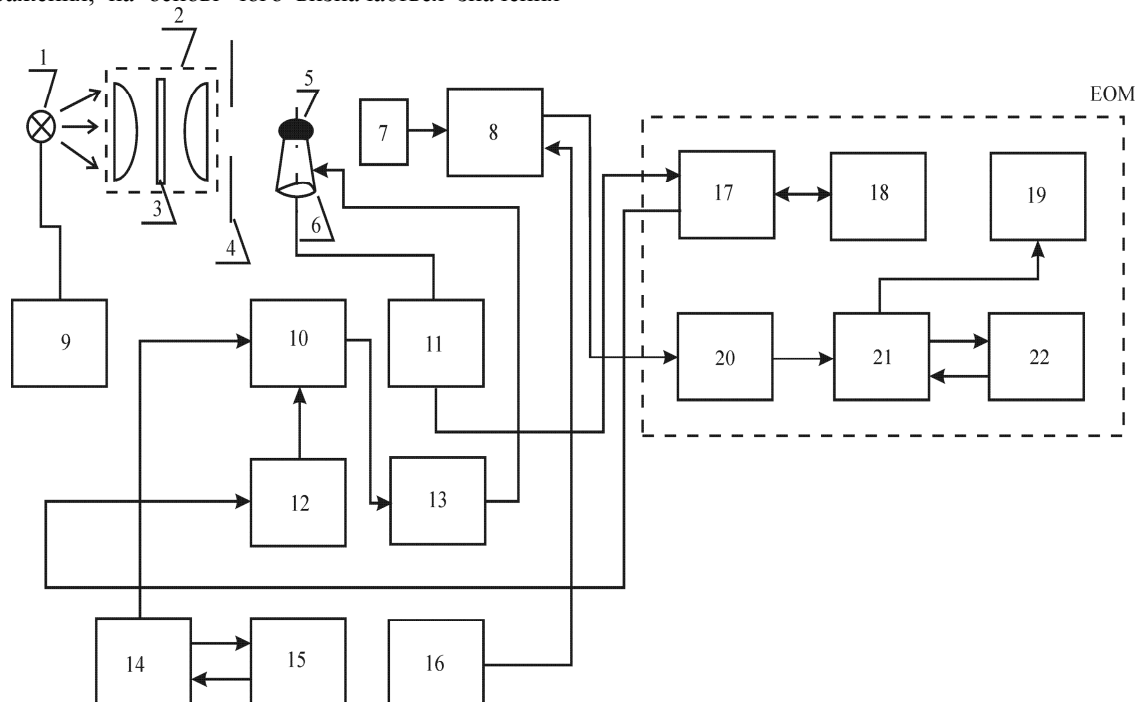
– одержання результатів вимірювання з абсолютною похибкою не більше 1,5%;

– забезпечення необхідної вірогідності результатів вимірювання ПН (не менше 95%);

– забезпечення безперервної роботи приладу впродовж 8 год.

Принцип роботи приладу ВПНО-1 наступний. Потік світлового випромінювання від джерела 1 проходить послідовно через коліматор 2, світлофільтр 3 та діафрагму 4. Лежача крапля 5 формується на верхньому торці вертикально встановленого ножового капіляра 6. Мікрооб'єктив 7 формує зображення краплі 5 на чутливій матриці світло-електричного перетворювача (СЕР) телевізійної камери 8. Сформований у камері 8 сигнал подається через пристрій відеозахоплення 20 на

ЕОМ, де проводиться обробка отриманого ПН. зображення, на основі чого визначається значення



1 – джерело світла із живленням постійним струмом; 2 – коліматор; 3 – змінний світлофільтр; 4 – діафрагма; 5 – лежача крапля; 6 – ножовий капіляр (капіляр із загостреною верхньою кромкою); 7 – мікροоб’єктив; 8 – телевізійна камера; 9 – джерело живлення освітлювача; 10 – блок формування краплі; 11 – блок давачів екстремальних положень поршня блока формування краплі; 12 – блок керування процесом формування

краплі; 13 – реверсивний двигун; 14 – компресор нагнітання термостабілізуючої рідини; 15 – блок підтримання температури термостабілізуючої рідини; 16 – механізм позиціонування телевізійної камери; 17 – паралельний порт комп’ютера; 18 – програма керування процесом формування краплі; 19 – монітор; 20 – пристрій відеозахоплення; 21 – відеопам’ять; 22 – процесор

Рис. 2. Структурна схема приладу ВПНО-1

Формування краплі здійснюється блоком 10 і 12. Контроль за досягненням верхньої та нижньої точок положення поршня блока формування краплі реалізується давачами 11.

Компресор 14 та блок підтримання температури 15 забезпечують температурний режим проведення досліджень.

Блок 16 служить для задання положення приймальної матриці СЕП у просторі.

Керування процесом формування краплі здійснюється через паралельний порт комп’ютера 17 спеціальною програмою керування. При цьому відстежується стан давачів крайніх положень поршня.

На рис. 3 показано зовнішній вигляд механоелектричного пристрою приладу ВПНО-1 (без ЕОМ), який містить усі блоки наведеної раніше

структурної схеми крім блоків 17-22.

Характерними конструктивними особливостями блоків пристрою є такі. Живлення джерела світла здійснюється стабілізованим постійним струмом. Це зумовлено безінерційністю матриці СЕП.

Для створення паралельного пучка променів на їхньому шляху після джерела світла 1 встановлено коліматор 2, який повинен забезпечувати можливість використання змінного світлофільтра 3, призначеного для створення монохроматичного пучка променів. Для налаштування приладу коліматор повинен мати ступені свободи у двох напрямках. Останнє дає можливість центрувати коліматор відносно оптичної вісі приладу ВПНО-1.

Ножовий капіляр, на торці якого формується крапля досліджуваної рідини, виготовляють із

нержавіючої сталі. Діаметр вихідного отвору капіляра 1,5 – 2,5 мм. При виготовленні капіляра основні вимоги стосуються овальності торця остан-

нього. Крім цього, після виточування капіляр шліфується для зменшення його торця.

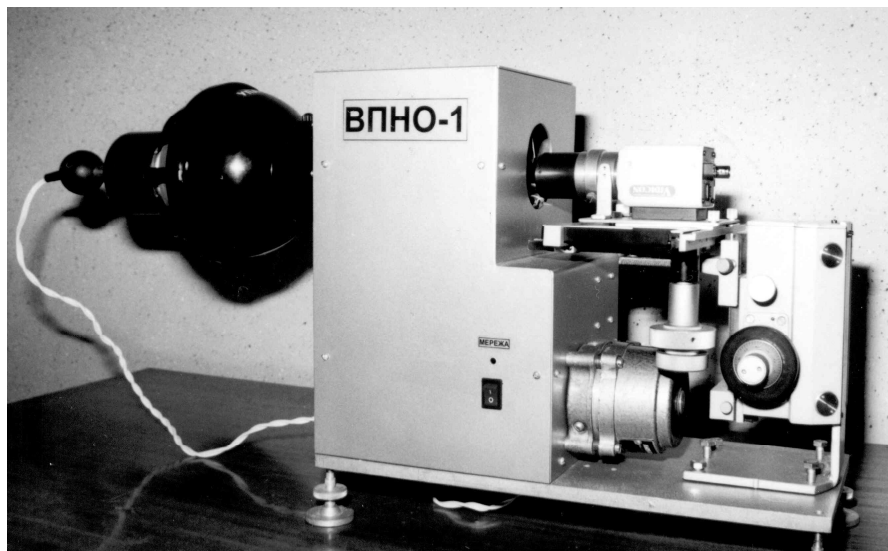


Рис. 3. Прилад ВПНО-1

Мікрооб'єктив 7 телевізійної камери 8 має можливість разом із камерою здійснювати переміщення у поздовжньому та поперечному напрямках відносно оптичної вісі приладу. Вказане забезпечує наведення на різкість зображення та центрування його по горизонталі. Паралельність оптичних осей системи об'єктив-камера та приладу у цілому досягається механічним з'єднанням камери 8 із поворотним механізмом, який дозволяє повертати камеру з об'єктивом відносно вісі приладу на величину $\pm 5^\circ$.

Блок формування краплі 10 має складну будову. Він складається із термостатованої посудини змінного об'єму. Термостатування реалізується шляхом введення у конструкцію герметичного об'єму із великою площею контакту із робочою рідиною (рівною $\approx 1/2$ площі стінок посудини). До складу герметичного об'єму введено два штуцери, через які здійснюється прокачування рідини із заданою температурою. Внаслідок постійного теплообміну між термостатуючим об'ємом та досліджуваною рідиною, інтенсивність якого забезпечується вказаною вище площею контакту, температура рідини залишається стабільною. Стальний капіляр забезпечує підтримання температури утвореної на його верхньому торці лежачої краплі. Зміна об'єму робочої камери із досліджуваною рідиною відбувається за рахунок переміщення поршня, який сполучений з камерою. Вісь поршня з'єднана через конічну передачу із

віссю реверсивного електродвигуна 13 РД-09-ТА із модифікованим редуктором (знижено швидкість обертання до 1 об/хв). Таким чином електродвигун забезпечує формування краплі рідини потрібних розмірів.

У приладі ВПНО-1 для вимірювання ПН вимірювання відповідних геометричних розмірів реалізується за допомогою телевізійної системи контролю (ТСК). Дана система дозволяє формувати цифрове зображення краплі і за допомогою відповідного програмного забезпечення визначати необхідні геометричні розміри. Наявність ТСК у приладі дає наступні переваги:

- можливість спостереження на екрані монітора за процесом формування краплі;
- автоматизувати процес вимірювання ПН на межі розділу рідина – оточуюче повітря;
- досягти високу точність вимірювання геометричних параметрів лежачої краплі;
- створювати бази даних цифрових зображень лежачої краплі з метою їхньої подальшої обробки та систематизації.

Проведений аналіз складових інструментальних та сумарних відносних похибок приладу ВПНО-1, який реалізують вказані методики вимірювання ПН методом лежачої краплі показав, що сумарна похибка вимірювання ПН з використанням значень радіусів кривизни [2] не перевищує 1,45%, а у випадку використання значень площі меридіанного перерізу краплі та її

екваторіального діаметра [3] сумарна похибка на перевищує 1,15%.

Використання ПАР у нафтогазовій промисловості пов'язане в першу чергу із інтенсифікацією видобутку нафти і газу шляхом проведення обробок розчинами ПАР привибійних зон експлуатаційних нафтових і газових свердловин. Згідно аналізу застосування ПАР на родовищах ВАТ "Укрнафта" [4] протягом двох останніх років від проведення 189 свердловино-операцій з використанням ПАР було додатково видобуто майже 57 тис. тонн нафти і 44 млн. м³ газу. Слід відмітити, що згідно вказаних "Матеріалів..." в нафтогазовій промисловості широко використовуються такі ПАР: Мирол, КНС, Пінол, Жиринокс, Савенол і їхні композиції різних концентрацій. Вибір типу ПАР і їхніх концентрацій у розчинах для проведення обробок привибійних зон залежить від фізико-хімічних властивостей пластового флюїду (нафти чи газу), від пластових умов (тиску, температури). Тому в кожному конкретному випадку необхідно здійснювати як вибір типу ПАР, так і їх концентрації у розчинах. Таким визначальним параметром при цьому може бути поверхневий натяг – параметр, який у вказаному випадку визначає якість розчину ПАР щодо його використання для проведення обробки (очистки) привибійних зон нафтогазових свердловин.

Вказане може бути виконано з використанням приладу ВПНО-1. Для цього готують проби розчинів одного із наявних ПАР з концентраціями активної маси в розчині від 2% до 6% в кількості по 30 мл кожного. За основу розчину використовують ту рідину, на базі якої передбачається готувати

промисловий розчин ПАР.

Аналогічно вищенаведеному готують розчини інших ПАР, а також їхніх композицій.

За допомогою приладу ВПНО-1 здійснюють вимірювання ПН на межі розділу між приготованими водяними чи газоконденсатними розчинами різних ПАР даних концентрацій з повітрям.

На основі результатів отриманих значень ПН будують графічні залежності поверхневого натягу від концентрації кожного ПАР у розчині. За оптимальну концентрацію даного ПАР або їх композицій в розчині вибирають ту концентрацію, перевищення якої вже не призводить до зменшення ПН.

1. Межфазная тензиометрия /А. И. Русанов, В. А. Прохоров. — СПб: Химия, 1994. — 400с. 2. Горєлов 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. Горєлов 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. 4. О. О. Зарубін, В. Д. Михайлик, В. І. Красько. Результати застосування поверхнево-активних речовин у процесах нафтогазовидобутку на родовищах ВАТ „Укрнафта” // Матеріали 7-ої Міжнародної науково-практичної конференції "Нафта і газ України-2002". — Київ. —2002. — Т.2— С.41-43