УДК 532.63

І. Є. Овчар, асп.

РОЗРОБЛЕННЯ АВТОМАТИЧНОГО ПРИЛАДУ ДЛЯ ВИМІРЮВАННЯ ПОВЕРХНЕВИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ РЕЧОВИН

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу,
e-mail: iovchar@mail.ru

Розроблено електричну схему і конструкцію приладу для вимірювання поверхневих властивостей речовин: поверхневого натягу, міжфазного натягу, крайового кута змочування, а також кінетики змочування. За допомогою цього приладу в процесі одного вимірювання отримано інформацію про комплекс поверхневих властивостей речовин на межі розділу фаз газ–рідина–тверде тіло і рідина–тверде тіло–рідина.

Вступ. Розробленя цього приладу зумовлено потребою таких приладів у науково-дослідних організаціях та заводських лабораторіях підприємств. За допомогою цього приладу в науково-дослідних лабораторіях можна досліджувати поверхневі параметри та кінетику процесу змочування без значних затрат часу. Для заводських лабораторій важливе значення відіграватиме можливість автоматичного вимірювання крайового кута змочування і параметрів міжфазного натягу (МН), бо цей процес надто трудомісткий.

Розроблений прилад має бути універсальним, тобто таким, щоб не потребував додаткових налаштувань у разі переходу від вимірювання одного параметра до іншого. Крім того, прилад має забезпечувати:

а) необхідну точність вимірювання рівноважних значень і динамічних характеристик: поверхневого натягу (ПН), МН, крайового кута змочування (ККЗ), а також кінетику змочування твердого тіла рідиною;

б) автоматизацію процесу вимірювання, бути конструктивно простим та зручним в експлуатації.

Аналіз досліджень і публікацій. Усі відомі методи вимірювання поверхневих властивостей речовин можна розбити на дві групи залежно від вимірювання геометричних або фізичних параметрів меніска.

Для вимірювання геометричних параметів меніска для знаходження ПН використовують методи лежачої [1] та висячої крапель [2]. У випадку малих розмірів краплі і великого значення ПН або МН можна з певною точністю припустити, що поверхня меніска має сферичну форму, і визначити поверхневі параметри простими тригонометричними перетвореннями [1]. У разі неправомірності припущення про сферичність форми меніска поверхневі параметри знаходять за допомогою наближених методів [2].

Перевагами згаданих методів можна вважати можливість вимірювання ПН незалежно від в’язкості досліджуваної рідини за високих температур і тисків навколишнього середовища, а також незалежність результатів вимірювання від змочування, що досягається шляхом формування меніска на торці поверхні.

Серед недоліків слід відзначити труднощі автоматизації процесу вимірювання та дослідження динамічних характеристик ПН і МН, неможливість вимірювання МН.

До методів знаходження поверхневих властивостей речовин, що ґрунтуються на вимірюванні фізичних параметрів меніска, входять методи, основними фізичними параметрами яких є маса краплі і тиск в краплі, тобто параметри, які безпосередньо залежать від поверхневих властивостей контактуючих фаз. Згідно з методом маси крапель коефіцієнт ПН σ можна знайти вимірюванням маси крапель рідини *P*, що витікають із вертикальної трубки, яка має внутрішній радіус *r*

$$\sigma = P/2\pi r .$$

Для знаходження ПН за цим методом використовують більш точні залежності, які отримано у праці [3]. Перевагами методів, в основу яких покладено вимірювання фізичних параметрів меніска, є простота і наочність, а недоліками – трудомісткість (для отримання високої точності необхідні складні розрахунки), складність автоматизації процесу.

Одним з методів, що ґрунтується на вимірюванні тиску в капілярному меніску, є метод максимального тиску в газовому пухирці або краплі. За цим методом вимірюють максимальний тиск при видавлюванні з капіляра краплі або пухирця. Очевидно, що при видавлюванні пухирця газу з круглого капіляра, опущеного в рідину, кривизна пухирця (а з нею і капілярний тиск Δp) досягає свого максимуму. Без гравітаційного поля, коли міжфазна поверхня має сферичну форму, ця максимальна кривизна є величиною, оберненою до радіуса капіляра (внутрішнього або зовнішнього в залежності від умов змочування). Тоді поверхневий натяг знаходять за формулою

$$\sigma = \Delta P_{\max} r / 2 ,$$

де $\Delta P_{\max}$ – максимальне значення капілярного тиску. За допомогою методу максимального тиску можна вимірювати ККЗ при $\theta > 90°$ [4].

Основною перевагою методу максимального тиску є можливість автоматизації процесу вимірювання, бо такий параметр, як тиск можна легко перетворити в електричний сигнал, що піддається відповідному дослідженню. Крім того, формування газових пухирців або крапель на торці капіляра технічно легко реалізується. Тому цей метод застосовують також і для вимірювання динамічного ПН і МН [5]. Метод має різні технічні реалізації – від простих до напівавтоматичних та автоматичних пристроїв. Одним з недоліків цього методу є його дискретність, тобто можливість визначення ПН (МН) тільки в момент максимального тиску.

Постановка завдання. У результаті ознайомлення із публікаціями, винаходами та приладами для вимірювання поверхневих властивостей можна зробити такі висновки:

а) поверхневі параметри в повному обсязі характеризують поверхневі властивості трьох агрегатних станів речовин у разі їх взаємного контакту і тому містять в собі достатню інформацію про досліджувану систему;

б) методи, що ґрунтуються на вимірюванні тиску в рідинному меніску, найкраще піддаються автоматизації, визначають як рівноважні, так і динамічні поверхневі параметри за допомогою тільки одного пристрою.

Нині потрібні засоби вимірювання, які в автоматичному режимі проводять комплексне дослідження поверхневих властивостей речовин (ПН, МН, ККЗ) за їх рівноважного стану та в динаміці, а також досліджують процес кінетики змочування.

Проведений аналіз методологічних основ вимірювання ПН за максимальним тиском у газовому пухирці показав, що для кращого визначення динамічних характеристик, точності вимірювання, автоматизації процесу вимірювання і відображення результатів дослідження у сприятливій формі необхідно розробити систему на сучасному науково-технічному рівні за мінімуму додаткової інформації, необхідної для розрахунку результатів вимірювання. При цьому основними завданнями синтезу є:

а) розробити числовий алгоритм визначення параметрів меніска у момент максимального тиску;

б) спроектувати функціональну і структурну схеми системи вимірювання поверхневого натягу рідин за методом максимального тиску.

Заголовок основного матеріалу. У зв’язку із вищевказаними вимогами розглянемо окремо специфічні особливості реалізації методів знаходження поверхневих властивостей шляхом вимірювання тиску в краплі постійного об’єму та в меніску постійної висоти, що дасть змогу спроектувати комплексний прилад.

Метод максимального тиску для краплі постійного об'єму можна реалізовувати за допомогою пристрою, зображеного на рис. 1.

На цій схемі: *1* – корпус; *2* – змінний ножовий капіляр; *3* – плунжер; *4* – мікрометрична різьба; *5* – лімб; *6* – напівпровідниковий датчик тиску; *7* – вимірювальний підсилювач; *8* – реєструвальний прилад; *9* – крапля рідини для вимірюванні ККЗ; *10* – досліджуване тверде тіло; *11* – крапля на твердому тілі у випадку вимірювання ККЗ; *12* – камера, в яку заливається рідина при вимірюванні МН і ККЗ на межі розділу тверде тіло – рідина.

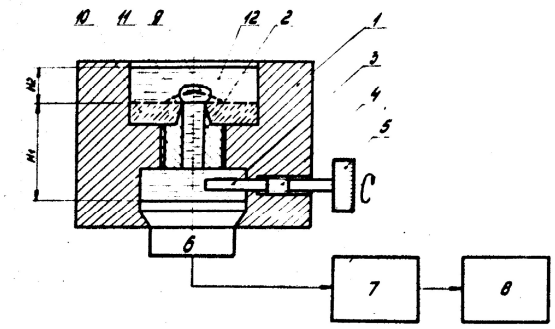

Рис. 1. Функціональна схема пристрою для визначення поверхневих властивостей за виміряним тиском у краплі постійного об'єму

Дозувальна система має забезпечувати можливість варіації об'єму краплі як у менший, так і в більший бік. Наявність змінного капіляра *2* зумовлюється тим, що у випадку вимірювання ККЗ досліджувана рідина має вільно розтікатися по твердій поверхні, що забезпечується капіляром малого діаметра з торцевою кромкою.

Досліджуване тверде тіло має перебувати на заданій постійній відстані від мембрани датчика тиску, чим створюється однаковий гідростатичний стовпчик рідини під час різних вимірювань. При знаходженні ПН кромка ножового капіляра також має бути розміщена на заданій відстані h від мембрани датчика тиску, що утворює так звану «нульову» точку відліку по об'єму. Для знаходження цієї точки потрібно обчислити гідростатичний тиск Pr досліджуваної рідини з урахуванням її питомої маси γ_1 та висоти стовпчика h:

$$Pr = \gamma_1 h.$$

Під час вимірювання МН і ККЗ у рідкому середовищі з питомою вагою γ_2 тиск, що відповідає «нульовій» точці, знаходять так:

$$Pr = \gamma_1 h_1 + \gamma_2 h_2.$$

Недоліками цього методу є: необхідність точного дозування об'єму краплі, потреба наперед знаходити ПН під час вимірювання ККЗ досліджуваної рідини. До переваг цього методу належить можливість знаходження динамічного ПН (МН). Це зумовлено тим, що після формування краплі заданого об'єму можна неперервно в часі вимірювати її тиск, а в разі тиску досліджувати зміну ПН або МН у часі. Крім того, на результати вимірювання за цим методом майже не впливає зміна площі краплі.

У разі використання методу максимального тиску для краплі постійної висоти крапля рідини формується на торці ножового капіляра через збільшення її об'єму до контакту з плоскою горизонтальною поверхнею досліджуваного твердого тіла з наступним утворенням рідинного містка. Тому загальна схема пристрою аналогічна до зображеної на рис. 1 і відрізняється тільки розміщенням твердого тіла (рис. 2). Тверде тіло *10* у цьому випадку розміщено на відстані h від гострої кромки капіляра за допомогою каліброваної по товщині шайби *13*. У випадку автоматичного формування краплі необхідно передбачити зупинку подачі рідини в момент її контакту з поверхнею твердого тіла, що реалізується шляхом реєстрації різкого падіння тиску в меніску в початковій стадії утворення рідинного містка. Прилад такоє має відображати результати вимірювання без додаткових функціональних перетворювачів.

Виходячи з описаних вище особливостей реалізації запропонованих методів вимірювання поверхневих властивостей речовин і враховуючи основні вимоги до лабораторних приладів, розроблений прилад має задовольняти такі вимоги.

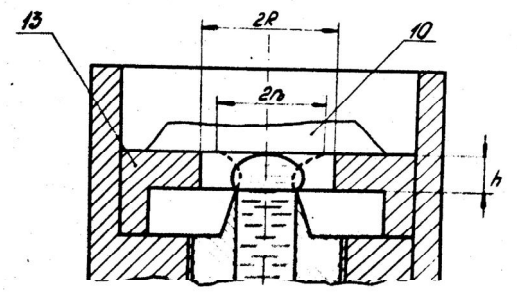

Рис. 2. Вимірювання поверхневих властивостей речовин методом тиску в меніску постійної висоти

1. За вимірюваними параметрами:

а) вимірювати ПН і МН рідин у статичному та динамічному режимах у таких діапазонах: ПН – від $10 \cdot 10^{-3}$ до $100 \cdot 10^{-3}$ н/м;

б) вимірювати ККЗ у динамічному режимі в діапазоні його зміни від 0° до 180°. При цьому вимірювання має бути можливим на межах розділу тверде тіло – рідина – рідина і рідина – тверде тіло – газ.

в) мати можливість дослідження процесу кінетики змочування рідиною поверхні твердого тіла.

2. За технічними можливостями:

а) виконувати вимірювання в ручному і автоматичному режимах.

б) елементи приладу, що контактують з досліджуваними рідинами, мають бути доступними для промивання й очищення та виконаними з матеріалів, стійких до корозії.

в) мати можливість термостабілізації середовищ, що утворюють і оточують краплю досліджуваної рідини.

На підставі викладених вище вимог розроблено структурну схему первинного перетворювача приладу, яка складається з механічної і електричної частин (рис. 3).

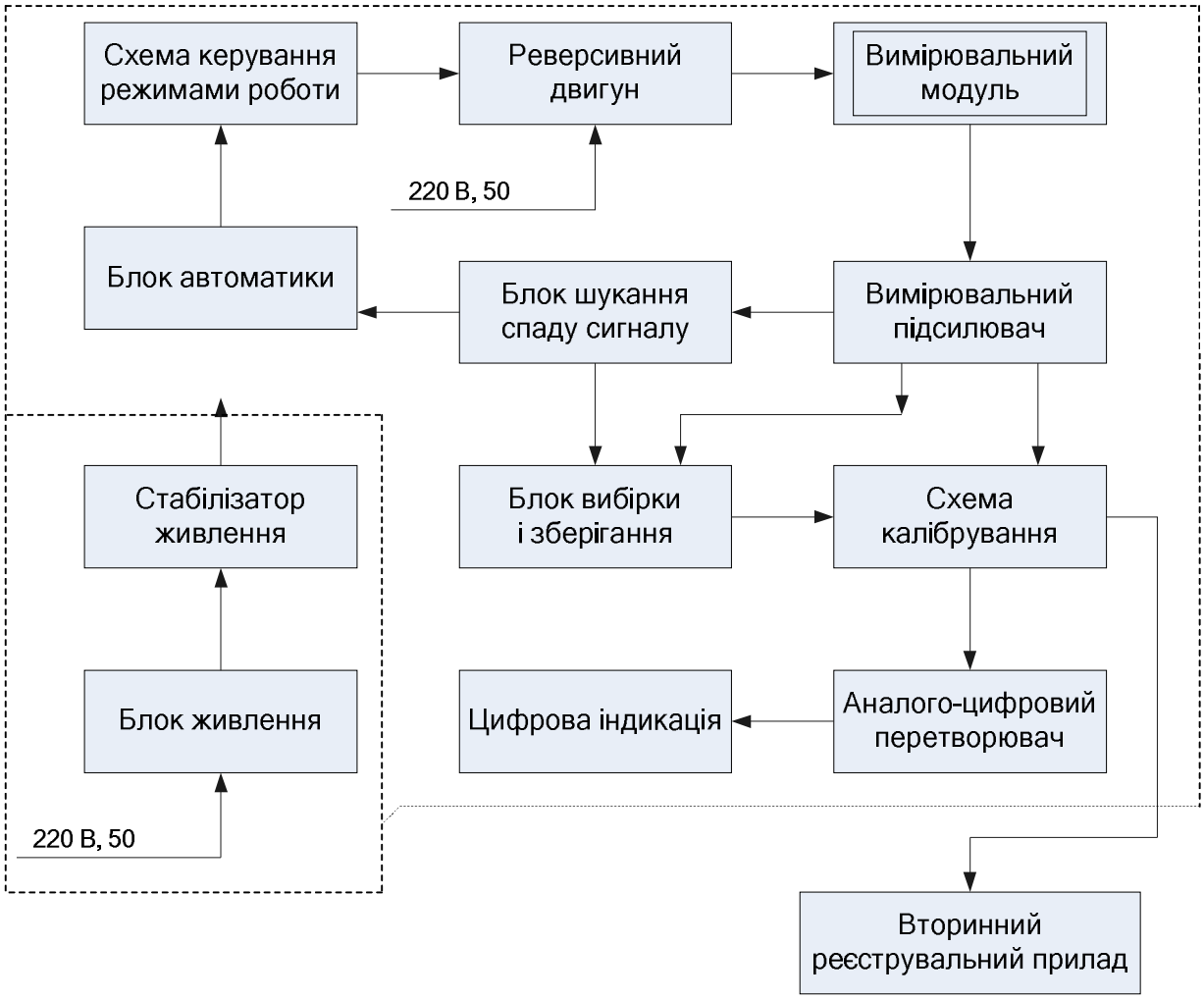

Рис. 3. Функціональна схема приладу

Висновки

За допомогою розробленого приладу:

а) реалізуються різні взаємодоповняльні методи знаходження поверхневих властивостей;

б) проводиться автоматичне вимірювання ККЗ та відображення виміряного значення на шкалі;

в) досліджується процес кінетики змочування рідинами твердих тіл з відображенням інформації на вторинному реєструвальному приладі;

г) у процесі одного вимірювання отримується інформація про комплекс поверхневих властивостей на межі розділу фаз газ–рідина–тверде тіло і рідина–тверде тіло–рідина.

Список літератури

1. *Lomas N. A.* Method for the Calculation of Surface and Interfacial Tension from the Shape of Pendent Drops // Canadian Journal of Chemistry. – 1968. – Vol. 46. – P. 3908 – 3919.
2. *Ambwani D. S., Tomlinson F. J.* Pendent Drops Technique for Measuring Liquid Boundary Tensions. In: Surface and Colloid Sci. – New York: Wiley Interscience, 1979. – Vol. 11. – P. 93 – 119.
3. *Kloubek J.* Messung der dynamischen Oberflachanspannung mittels der Method maximalen Blasendrucks: Tenside, 1958, T.5, S. 11 – 12, 317 – 323.
4. *А. с. 450994* (СССР) Способ определения краевого угла смачивания. Ивано-Франковский институт нефти и газа / И. С. Кисиль, Л. П. Фабри, опубл. 1974, Бюл. №43.
5. *Ребиндер А. П.* Об измерении поверхностной энергии и поверхностной активности растворов и биологических жидкостей на разных поверхностях раздела // Журн. экспер. биологии и медицины. – 1927. – Т.4, №14. – С. 939 – 953.

И. Е. Овчар

Разработка автоматического прибора для измерения поверхностных свойств веществ

Разработана электрическая схема и конструкция прибора для измерения поверхностных свойств веществ: поверхностного натяжения, межфазного натяжения, краевого угла смачивания, а также кинетики смачивания. С помощью данного прибора в процессе одного измерения получено информацию о комплексе поверхностных свойств веществ на границе раздела фаз газ–жидкость–твердое тело и жидкость–твердое тело–жидкость.

I. E. Ovchar

Development of the automatic device for measurement of superficial properties of substances

An electric chart and construction of device is developed for measuring of superficial properties of matters: surface-tension, regional corner of moistening, and also kinetics of moistening. By this device in the process of one measuring information turns out about the complex of superficial properties of matters on the border of section of phases gas–liquid–hard body and liquid–hard body–liquid.