

УДК 532.68

**МЕТОД ЕКСПРЕС-КОНТРОЛЮ ПОВЕРХНЕВОГО НАТЯГУ ТВЕРДИХ ТІЛ****Л. А. Витвицька, Г. І. Рижан, М. М. Чуйко**

*Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу,  
вул. Карпатська, 15, м. Івано-Франківськ, 76019, тел. (8-03422) 4-60-77,  
e-mail: zarichna@iung.edu.ua*

*Запропоновано метод вимірювання поверхневих властивостей твердих пористих тіл, який базується на залежності діелектричних властивостей твердого тіла від ступеня змочуваності рідиною його поверхні.*

*Предложен метод измерения поверхностных свойств твердых пористых тел, который базируется на зависимости диэлектрических свойств твердого тела от степени смачиваемости жидкостью его поверхности.*

*The method of measuring of surface-tension of porous solids is offered, which is based on dependence of dielectric properties of solid on the degree of wettability by the liquid of his surface.*

Багато технологічних процесів пов'язані із взаємодією рідин і твердих тіл, тобто із адгезією, яка безпосередньо пов'язана із явищем змочування. Рідкою фазою може бути пластовий флюїд, фарба, мастило, чорнило, розплавлений метал, гербіциди тощо. Тверде тіло може представляти собою або монолітне тверде тіло із гладкою поверхнею (наприклад, метали після відповідної механічної обробки), або пористе тіло (наприклад, нафтогазоносний пласт). При цьому визначальну роль у взаємодії твердого тіла із рідиною відіграють властивості твердого тіла на межі розділу фаз.

До твердих поверхонь, як і до рідин, застосовується поняття про питому вільну поверхневу енергію і поверхневий натяг. Однак при трактуванні цих термінів слід врахувати, що поверхня твердого тіла енергетично неоднорідна, а молекули твердих тіл не володіють такою рухливістю, яка властива рідинам. Тому при визначенні поверхневих параметрів твердого тіла можна отримати лише середні значення цих параметрів. Взаємозв'язок між ними описаний такою формулою [1]:

$$\gamma_{ik} = \sigma + \frac{\partial \sigma}{\partial e_{ik}}, \quad (1)$$

де  $\gamma_{ik}$  – тензор поверхневого натягу,  $e_{ik}$  – тензор деформації поверхні,  $\sigma$  – поверхневий натяг.

Твердим тілам властива нерівноважність (дифузійна і хімічна), ступінь якої зазвичай невідома. Тому в кожному конкретному досліді мова йде про поверхневий натяг даного зразка, а

не речовини взагалі. Навіть при ідеальній чистоті твердого тіла в його структурі містяться вакансії і дислокації (домішки), що порушують нормальну структуру кристалічної решітки. Також значний вплив на значення поверхневого натягу має шорсткість поверхні твердого тіла. Крім того, саме для твердого тіла механічний  $\gamma$  (який визначає пружні властивості поверхні) та термодинамічний  $\sigma$  (який визначає енергетичні властивості поверхні) поверхневі натяги не співпадають.

Тому поверхневі властивості твердого тіла найбільш доцільно визначати саме за його взаємодією із іншими фазами — рідиною чи газом. Робота адгезії — робота, яку необхідно затратити для відриву рідини або твердої поверхні від іншої твердої поверхні, тобто для відновлення вихідного стану контактуючих фаз. Ця робота визначається залежністю

$$W_a = -\frac{0,6A}{\pi H^2}, \quad (2)$$

де  $A$  – константа молекулярної взаємодії, або константа Ван-дер-Ваальса;  $H$  – відстань між контактуючими тілами.

В загальному робота  $W_a$  представляє собою суму робіт різних видів зв'язків між молекулами: дисперсійного, водневого, диполь-дипольного, індукційного, донорно-акцепторного, електростатичного. Найбільш істотне і визначальне значення при роботі адгезії мають дисперсійні сили, що визначаються енергією електронного та іонного зв'язку в молекулах.

Для вимірювання поверхневого натягу на границі рідина – газ розроблено багато методів і засобів [2]. Однак стосовно методів та засобів вимірювання поверхневого натягу твердого тіла на границях розділу з газом чи з рідиною, то кожний із відомих методів поряд із наявністю значної кількості впливових факторів, необхідністю чіткого дотримання умов проведення вимірювань (однозначна ступінь чистоти, оброблення поверхні, дотримання температури, тиску), складністю розрахунків передбачає достатньо тривалий процес самого вимірювання. Тому пропонується метод експресного визначення поверхневого натягу саме того зразка, поверхневий натяг якого необхідно на даний час визначити. При цьому такий метод дозволяє проводити вимірювання без дотримання складних вимог відносно чистоти зразка, умов навколишнього середовища, а також дає можливість перетворювати значення поверхневого натягу в електричний параметр, який зручний для подальшого оброблення та інтерпретації. Саме таким параметром є ємність електричної комірки. Ця величина достатньо легко вимірюється і є інформаційним параметром електричного кола.

З другого боку ємність комірки з розташованим між двома електродами твердим тілом залежить від стану самого діелектричного тіла, від властивості поверхні змочуватись рідиною, що і характеризує його поверхневий натяг на границі розділу тверде тіло-рідина. Ємнісний метод вимірювання впливає із залежності ємності плоского конденсатора із зосередженням в середині полем від діелектричної проникності середовища  $\varepsilon_e$  між його пластинами

$$C_k = \varepsilon_0 \varepsilon_k \frac{s}{h}, \quad (3)$$

де  $s$  – площа пластин конденсатора,  $h$  – відстань між пластинами.

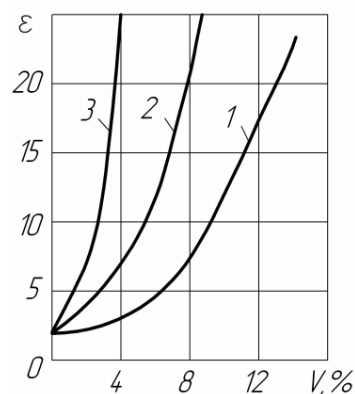
У свою чергу ця діелектрична проникність буде змінюватися при адсорбуванні води (дистильованої води) пористим тілом, яке знаходиться між пластинами конденсатора за експоненціальним законом:

$$\varepsilon_k = \varepsilon_e - (\varepsilon_e - \varepsilon_{c.зр.}) e^{-\alpha V}, \quad (4)$$

де  $\varepsilon_e$ ,  $\varepsilon_{c.зр.}$  – відповідно діелектричні проникності дистильованої води у вільному стані і сухого зразка пористого тіла;  $\alpha$  – постійний коефіцієнт (наприклад,  $\alpha=0,044$ );  $V$  – об'єм рідкої фази.

За відсутності вологи капілярнопористі матеріали та рідкі неполярні і слабополярні речовини мають дуже низьку діелектричну проникність і малі діелектричні втрати. Результати вимірювань електричних параметрів матеріалів, отримані різними дослідниками, часто відрізняються внаслідок використання різних методик вимірювання і відмінностей використаних зразків. Навіть сильно полярні рідини мають значно нижчі значення  $\varepsilon$ , ніж вода.

За експериментальними даними побудовані залежності діелектричної проникності  $\varepsilon_k$  від кількості адсорбованої пористим тілом вологи  $V$  при різних значеннях поверхневого натягу цих пористих тіл  $\sigma_{ТГ}$ . Як видно з даних залежностей, які представлені на рис. 1, криві  $\varepsilon = f(V)$  для різних значень  $\sigma_{ТГ}$  не перетинаються між собою і монотонно зростають. Це вказує на можливість однозначного визначення  $\sigma_{ТГ}$  за відомими  $\varepsilon$  та  $V$ .



1 — вугілля; 2 — пісок; 3 — гравій

Рисунок 1 – Залежність  $\varepsilon(V)$  твердих матеріалів

Для цього необхідно мати набір даних залежностей в оперативній пам'яті ЕОМ для порівняння із залежністю, отриманою в процесі вимірювання. На основі порівняння теоретичної та експериментальної кривої, виміряної за певною кількістю точок (мінімум 5), визначається значення поверхневого натягу твердого пористого тіла. Оскільки теоретично-експериментальні криві визначені для вологості, поданої та виміряної у відсотках, а різні значення поверхневого натягу твердого тіла встановлювались шляхом його розтягу, як вказано в [5], то за даним методом порівняння можна проводити експрес-контроль поверхневого натягу для тих твердих тіл, які

були використані для отримання залежностей, закладених в пам'ять ЕОМ.

Функціональна схема розробленого пристрою подана на рис. 2, основними вузлами якого є:

1 – вузол прецизійного переміщення поршня дозатора (електромеханічний блок);

2 – вузол вимірювання ємності (вимірювальний блок);

3 – вузол розрахунку  $\sigma$  за отриманими залежностями та керування роботою пристрою.

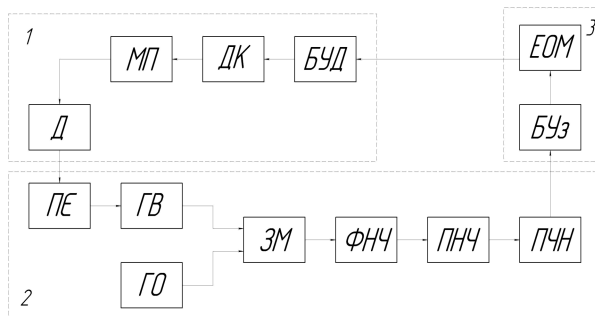


Рисунок 2 – Структурна схема приладу

Вузол 1 включає кроковий двигун ДК, який через передавальний механізм МП дискретно переміщує вгору-вниз поршень дозатора Д для нанесення дистильованої води на поверхню зразка. Робота двигуна керується ЕОМ через блок управління двигуном БУД почерговою подачею на його обмотки імпульсів напруги. Використаний в пристрої кроковий двигун при подачі одного імпульса на відповідну обмотку дає можливість отримати кут обертання, рівний 108 кутових хвилин.

Блок БУД по команді ЕОМ здійснює перемикання обмоток двигуна для його вмикання, реверсу чи зупинки, а також запобігає проходженню в інші блоки приладу імпульсних перешкод внаслідок роботи струмових обмоток двигуна.

Вузол 2 складається із ємнісного перетворювача ПЄ, сигнал з якого подається на вимірювальний генератор ГВ. У змішувачі ЗМ порівнюється частота вимірювального генератора ГВ та опорного генератора ГО. Різниця частот через фільтр низьких частот ФНЧ, підсилювач ПНЧ та перетворювач «частота-напруга» ПЧН подається на блок узгодження БУз для введення в ЕОМ.

Вузол 3 – це персональна ЕОМ з блоком узгодження БУз. ЕОМ призначена для керування всією роботою приладу, а також для

розрахунку поверхневого натягу за закладеними в її пам'ять теоретичними залежностями  $\varepsilon = f(V, \sigma)$  при надходженні інформації про об'єм нанесеної води і діелектричну проникність середовища між обкладками конденсатора. Блок БУз призначений для забезпечення двостороннього зв'язку між ЕОМ та іншими блоками приладу. Він дозволяє комутувати сигнали від різних джерел і передавати їх по восьмибітному каналі вводу, узгоджує рівні всіх сигналів з прийнятими в ЕОМ, здійснює буферизацію шини даних.

Щільний контакт пластин конденсатора з поверхнями циліндричного горизонтального зразка забезпечується спеціальним рухомих гвинтом.

## ВИСНОВКИ

Розроблений пристрій дозволяє проводити експрес-контроль поверхневого натягу пористого тіла за ступенем його змочуваності дистильованою водою шляхом визначення залежності зміни діелектричних властивостей системи тверде тіло-рідина, зокрема ємності середовища в залежності від кількості адсорбованої вологи. Дана експериментальна залежність порівнюється із теоретичними залежностями, які збережені в пам'яті ЕОМ, для вибору найбільш близької, що відповідає певному значенню поверхневого натягу твердого пористого тіла.

## Література

1. Зимон А.Д. Адгезия жидкости и смачивание. – М.: Химия, 1974. – 416 с.
2. Адамсон А. Физическая химия поверхностей: Пер. с англ. – М.: Мир, 1979. – 568 с.
3. Русанов А.И., Прохоров В.А. Межфазная тензиометрия. – С.-Петербург: Химия, 1984. – 397 с.
4. Чуйко М.М., Витвицька Л. А., Витвицький З.Я. Аналіз особливостей вимірювання поверхневого натягу твердих тіл // Методи та прилади контролю якості. – 2008. – №20. – С. 36-40.
5. Берлинер М.А. Измерение влажности. Изд. 2-е, перераб. и доп. — М.: Энергия, 1973. – 400 с.

Поступила в редакцію 07.05.2009р.

Рекомендував до друку докт. техн. наук,  
проф. Кісіль І.С.