

532.6
Б75

Міністерство освіти і науки України
Івано-Франківський національний технічний
університет нафти і газу

Боднар Роман Тарасович



10
УДК 532.612

Б75

РОЗРОБЛЕННЯ МЕТОДІВ ТА ЗАСОБІВ КОНТРОЛЮ
ЗМОЧУВАНОСТІ ТВЕРДИХ ТІЛ РІДИНАМИ

05.11.13 – Прилади і методи контролю
та визначення складу речовин

АВТОРЕФЕРАТ
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Івано-Франківськ – 2006

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана в Івано-Франківському національному технічному університеті нафти і газу Міністерства освіти і науки України.

Науковий керівник: кандидат технічних наук, доцент
Дранчук Мирослав Михайлович,
Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, професор кафедри автоматизації технологічних процесів і моніторингу в екології.

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор
Криль Ярослав Антонович,
Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, завідувач кафедри зносостійкості і відновлення деталей машин.

кандидат технічних наук,
Рудий Мирослав Іванович,
науково-дослідний і проектний інститут ВАТ "Укрнафта", м.Івано-Франківськ, начальник групи інтенсифікації видобутку нафти.



Провідна уст
Міністерства о

олітехніка"

Захист відбуде
вченої ради
університеті на

ціалізованої
технічному

З дисертацією м
технічного унів

іонального
тська, 15).

Автореферат ро

Вчений секретар
доктор технічни

ей Б.В.

профілю, вказує на слабку оструктуреність і масивну будову ґрунту, що, очевидно, обумовлено, головним чином, ґрунтоутворюючою породою, яка, як відомо, незначно змінюється в процесі педогенезу і визначається мінералогічним і гранулометричним складом (Кызлатов И.И., 2003, Ямелинesh Т.С., 2004).

Стереометрична оцінка дисперсно-ентропійних властивостей мікроструктури ґрунтів. Крім стереолого-планіметричного аналізу, в дисертації реалізовано порівняно новий стереолого-стереометричний метод (Мельник В.М. та ін., 1999), який дозволяє здійснювати просторовий аналіз цифрової моделі мікрорельєфу (ЦММР) за орієнтаційними характеристиками.

Для переходу від кількісних морфометричних і геометричних показників, що отримуються при аналізі РЕМ-зображень до об'ємних, пропонується здійснювати 3D-реконструкцію мікроструктури ґрунту за допомогою стереовимірювань РЕМ-зображень. Розроблено оригінальний метод стереометричної оцінки просторової організації мікроструктури ґрунту. Метод передбачає побудову ЦММР, профілювання вздовж довільно вибраних напрямків, застосування методів спектрального аналізу. Аналіз структури профілів ЦММР пропонується проводити в частотній області, оскільки частота, однозначно відповідає довжині елемента профілю. Сумуючи спектр за частотами, оцінюється загальна дисперсія відміток мікрорельєфу ЦММР, а також частка тієї дисперсії, яка належить окремим інтервалам частот, тобто розмірам елементів.

Запропонований підхід дозволяє кількісно описати ступінь вираженості мікрорельєфу поверхні шліфів зразків ґрунту (дисперсію його висотних відміток – σ_1^2) і встановити, за рахунок яких елементів вона формується. Використання кількох збільшень дозволяє отримати параметри мікрорельєфу першого порядку з розмірами елементів в плані 40-400 мкм, середнього (другого порядку) з розмірами елементів 20-200 мкм, дрібного (третього порядку) з розмірами елементів 10-80 мкм. (табл.5).

Таблиця 5

Основні структурно-гранулометричні показники зразків ґрунту ділянки №1

№ зразка	Гранулометричний склад: остат. фракції, мм			σ_1^2	O_1	L_1	σ_2^2	O_2	L_1	σ_3^2	O_3	L_1
	>0.05	0.05–0.002	<0.002									
1	19.1	45.4	33.5	352	0.31	1.10	244	0.35	1.51	65	0.29	1.54
2	9.2	58.3	32.5	90	0.60	1.05	75	0.55	1.09	31	0.40	1.22
3	18.5	42.4	39.1	310	0.33	1.10	283	0.33	1.46	31	0.40	1.22

* $L_{1,2,3}$ – питома довжина профілів; $O_{1,2,3}$ – організованість мікроструктур.

Для практики аналізу мікроструктур важлива задача оцінки ентропії або відносного ступеня впорядкованості (організованості) на основі експериментальних даних, особливо, коли відсутня інформація про структуру досліджуваної системи. Відповідно до цієї задачі в дисертації здійснено розрахунок ентропії, в основу якого покладено морфоспектральний аналіз поверхні сколу ґрунту, який поєднує використання методів РЕМ-стереоскопічної зйомки мікрооб'єктів, аналітичну фотограмметричну обробку РЕМ-зображень та спектральний аналіз ЦММР. Для розрахунку ентропійної характеристики мікроструктури пропонується аналізувати розподіл відміток мікрорельєфу ЦММР:

Мета роботи полягає у розробленні теоретичних і методологічних основ нових методів контролю змочування твердих матеріалів та виробів рідинами, а також технічних засобів, що реалізують ці методи контролю.

Відповідно до поставленої мети необхідно розв'язати наступні задачі:

- провести теоретичний аналіз фізико-хімічного процесу змочування поверхонь різних твердих тіл рідинами та існуючих методів і засобів його контролю;
- розробити математичну модель змочування монолітних твердих тіл рідинами з утворенням капілярного газового містка та отримати залежність величини ККЗ від капілярного тиску в газовому містку;
- розробити математичну модель змочування монолітних твердих тіл рідинами при формуванні лежачої краплі на їхніх поверхнях і отримати залежності величини ККЗ від геометричних параметрів краплі;
- розробити математичну модель змочування пористих твердих тіл рідинами та отримати залежність величини ККЗ цих тіл від капілярного тиску в порах;
- розробити методи і технічні засоби для контролю змочуваності поверхонь твердих монолітних і пористих матеріалів;
- оцінити похибки розроблених технічних засобів для контролю змочуваності;
- провести лабораторні і промислові випробування розроблених технічних засобів для контролю змочування.

Об'єкт дослідження: фізико-хімічні процеси змочування монолітних та пористих твердих тіл рідинами.

Предмет дослідження: методи та засоби контролю змочуваності монолітних та пористих твердих тіл рідинами.

Наукова новизна одержаних результатів полягає у наступному:

- вперше отримано залежність величини ККЗ від максимального тиску у газовому містку, що дає можливість контролювати ККЗ неперервно в автоматичному режимі, визначати кінетику змочування поверхонь монолітних твердих тіл, отримати інтегральну оцінку змочування;
- вперше отримано залежності величини ККЗ від різних вимірюваних геометричних параметрів профілю лежачої краплі рідини на поверхні твердого тіла, що дає можливість оперативного визначати величину ККЗ в різних умовах, в т. ч. і шкідливих, для різних об'єктів, оцінювати ізоморфізм поверхні твердого тіла;
- вперше отримано аналітичну залежність величини ККЗ від зміни тиску при капілярному насиченні рідиною пористих твердих тіл, що дає можливість оцінити їх змочування, зокрема, кернів нафтоносних порід з метою інтенсифікації процесів нафтовидобутку.

Практичне значення одержаних результатів полягає в тому, що розроблені засоби контролю ККЗ монолітних і пористих твердих тіл рідинами, а саме прилади ВКЗ-1, ВКЗО-1 і ВЗПТ-1, які дозволяють проводити автоматизований контроль змочування у реальних умовах та методики використання цих приладів; проведений метрологічний аналіз вказаних приладів, який показав, що їх основні приведені

похибки є такими: прилад ВКЗ-1 – 1,5%; прилад ВКЗО-1 – 1,6%; прилад ВЗПТ-1 – 2,36%.

Вірогідність результатів. Вірогідність отриманих наукових результатів в роботі обумовлена виконанням теоретичних досліджень з використанням теорії капілярності Лапласа-Юнга, теоретичних методів прикладної математики і теоретичних основ метрології. Вірогідність цих результатів підтверджена результатами експериментальних випробувань за допомогою розроблених технічних засобів, що зумовлено правильністю виконання експериментів і підтверджується їх збіжністю при отриманні результатів різними методами, а також результатами впровадження розроблених методів контролю змочуваності.

Особистий внесок здобувача. Основна частина теоретичних та експериментальних досліджень, висновки і рекомендації виконані автором самостійно. Автором проаналізовано існуючі методи для контролю змочуваності твердих тіл рідинами, розроблено методи контролю змочуваності монолітних і пористих твердих тіл шляхом вимірювання максимального тиску у газовому містку, шляхом вимірювання висоти, максимального діаметру та площі профілю краплі рідини на поверхні твердого тіла та шляхом встановлення координат точок профілю краплі рідини на твердому тілі і діаметра основи краплі; а також шляхом вимірювання швидкості зміни тиску у герметичній камері над твердим пористим тілом в процесі його змочування рідиною.

Із робіт, що опубліковані в співавторстві, використано результати, отримані особисто здобувачем. В друкованих працях опублікованих у співавторстві, автору належать: [2] – теоретичне обґрунтування пропозиції щодо залежності максимального тиску у газовому містку від ККЗ; [4] – методика визначення ККЗ; [6] – методика оцінки похибки приладу ВКЗ -1; [7] – розроблення методики оцінки якості рідин для проведення капілярної дефектоскопії; [8] – методика визначення ККЗ шляхом обробки розмірів лежачої краплі; [9] – теоретичне обґрунтування методу та основні положення методики оперативного визначення ККЗ; [10] – розроблення структурної схеми приладу; [11] – аналіз відомих методів контролю ККЗ; [12] – представлення результатів вимірювання ККЗ пенетрантів; [14] – опис приладів для контролю ККЗ; [15] – пропозиції щодо методик повірки приладів для вимірювання змочуваності; [17] – методики контролю ККЗ відомими приладами; [18] – теоретичне обґрунтування методу та основні положення методик визначення ККЗ пористих тіл.

Апробація результатів дисертації. Основні положення дисертаційної роботи обговорювались на науково-технічних конференціях професорсько-викладацького складу ІФНТУНГ (1995 р., 1996 р., 1997 р., 1999 р., 2000 р.); на міжнародній конференції "Сучасні прилади, матеріали та технології для технічної діагностики та неруйнівного контролю нафтогазового, хімічного та енергетичного обладнання" (м.Івано-Франківськ, 1996 р.); на 4-ій спеціалізованій конференції "Сучасні прилади, матеріали і технології для неруйнівного контролю і технічної діагностики промислового обладнання" (м. Івано-Франківськ 1999 р.); на науково-технічній

конференції "Підвищення ефективності використання поверхнево-активних речовин в нафтогазовидобутку" (м.Івано-Франківськ, 2000 р.); на міжнародній науково-технічній конференції "Леотест-2001" (с-ще Славськ Львівської обл., 2001 р.); на III-ій міжнародній науково-технічній конференції "Метрологія та вимірювальна техніка", (Метрологія-2002), (м. Харків, 2002 р.); на 3-й науково-технічній конференції "Сучасні прилади, матеріали і технології для неруйнівного контролю технічної діагностики промислового обладнання" (м. Івано-Франківськ, 2002 р.); на другій науково-технічній конференції "Приладобудування" (м. Київ, 2003 р.); на 4-й Національній науково-технічній конференції "НКТД-2003. Неруйнівний контроль та технічна діагностика" (м. Київ, 2003 р.); на сьомій Українській конференції-виставці "НЕРУЙНІВНИЙ КОНТРОЛЬ 2004" (м.Київ, ІЕЗ ім. Є.О.Патона, 2004 р.); на 8-й Міжнародній науково-практичній конференції - "НАФТА І ГАЗ УКРАЇНИ- 2004" (м.Судак, АР Крим, 2004 р.); на XII міжнародній міжвузівській школі-семінарі "Методи і засоби технічної діагностики" (Івано-Франківськ, 2005 р.); на 4-й науково-технічній конференції "Сучасні прилади, матеріали і технології для неруйнівного контролю і технічної діагностики промислового обладнання" (м. Івано-Франківськ, 2005 р.).

Публікації. Результати роботи висвітлені у 10 статтях у фахових наукових журналах (3 статті одноособово), у 8 збірниках матеріалів і тез н/т конференцій.

Структура дисертації. Дисертація складається із вступу, шести розділів, висновку, переліку використаних джерел із 143 найменувань і викладена на 203 сторінках. Крім того дисертація проілюстрована 54 рисунками, включає 6 таблиць і 9 додатків.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі вказана сутність наукової проблеми, її стан та значущість для народного господарства, показаний зв'язок із науковими темами, сформульовані мета та задачі досліджень, подані наукова новизна і практичне значення отриманих результатів, вказаний особистий внесок здобувача, приведена інформація про публікації за результатами роботи та про їхню апробацію.

У першому розділі обґрунтовано необхідність контролю процесу змочування твердих тіл рідинами – одного із основних чинників багатьох технологічних процесів, виявлено суть фізико-хімічної взаємодії твердих і рідких тіл, показано методи оцінки взаємодії трифазної системи рідина-тверде тіло-газ на межі їх контакту і чинники, які впливають на цю взаємодію, а також показано, що оптимальним параметром оцінки змочуваності твердих тіл рідинами є ККЗ.

Знання ККЗ дає можливість оптимізувати виробничі процеси, в яких присутня взаємодія твердих і рідких фаз у присутності газової фази. При цьому важливо знати і кінетику зміни ККЗ з часом, вплив різних речовин на цей процес, зокрема поверхнево-активних речовин (ПАР). Отже контроль величини ККЗ є важливою технічною задачею, який неможливий без відповідних технічних засобів.

В даному розділі проведено аналіз існуючих на даний час методів і засобів контролю ККЗ, розкрито сутність цих методів, а також принципи роботи засобів, що реалізують ці методи.

Помимо прямого візуального визначення ККЗ відомо ще ряд інших способів визначення ККЗ, оскільки змочування є складним фізико-хімічним процесом, а величина ККЗ пов'язана з багатьма фізичними і геометричними параметрами як рідин і газів, так і поверхонь твердих тіл.

Проведений аналіз показав, що в даний час відсутні промислові технічні засоби, які б дозволяли проводити надійний контроль ККЗ, причому так, щоб цей процес був максимально автоматизованим і щоб його можна було проводити для різних трифазних систем. Найбільш придатними з урахуванням наведених вимог є методи визначення ККЗ через вимірювання капілярного тиску в трифазній системі при наявності пористого твердого тіла, та через вимірювання геометричних параметрів менісків оптичним методом при наявності твердого монолітного тіла.

З урахуванням проведеного аналізу відомих методів і засобів контролю ККЗ, а також чинників, що впливають на результати контролю, визначено мету і задачі досліджень дисертаційної роботи.

Другий розділ присвячений розробленню математичних моделей осесиметричних капілярних поверхонь, що мають форму лежачої краплі рідини на поверхні твердого тіла або газового містка, утвореного між вихідним отвором вертикально опущеного в рідину каліброваного капіляра і поверхнею твердого досліджуваного тіла, що знаходиться нижче вихідного края капіляра на певній віддалі, аналізу результатів моделювання з метою розроблення методів контролю ККЗ шляхом вимірювання тиску в газовому містку і геометричних параметрів краплі рідини на поверхні твердого тіла.

Для математичного опису капілярних поверхонь лежачої краплі та газового містка було використано основне рівняння капілярності Юнга-Лапласа:

$$\Delta P = \sigma_{\text{ст}}(K_1 + K_2), \quad (1)$$

де ΔP – різниця внутрішнього і зовнішнього тисків, які діють на поверхню розділу рідина-газ у вибраній точці; K_1, K_2 – значення кривизни капілярної поверхні в цій точці у взаємно-перпендикулярних площинах; $\sigma_{\text{ст}}$ – поверхневий натяг на межі розділу фаз рідина-газ.

Виходячи з рівняння (1), при суміщенні осі симетрії капілярної поверхні із вертикальною віссю OZ можна отримати таку систему диференціальних рівнянь, яка описує осесиметричні капілярні поверхні газового містка і лежачої краплі (рис. 1):

$$\left. \begin{aligned} \frac{d\varphi}{dL} &= 2K_0 - \frac{\sin\varphi}{X} + \frac{Z}{a^2}; \\ \frac{dX}{dL} &= \cos\varphi; \quad \frac{dZ}{dL} = \sin\varphi, \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

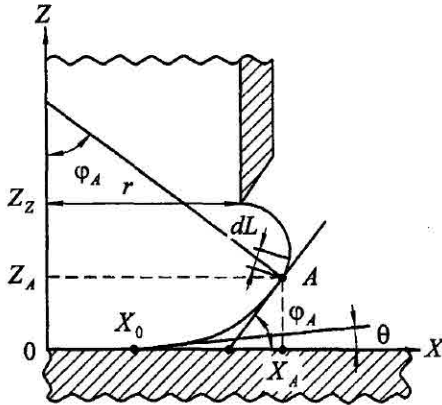


Рис. 1. Моделювання капілярної поверхні газового містка ($\theta < 90^\circ$)

де φ – кут між нормаллю до поверхні в даній точці і віссю OZ ; L – довжина дуги меридіанного перерізу капілярної поверхні; K_0 – середня кривизна капілярної поверхні в початковій точці; X , Z_A – координати бігучої точки A профілю поверхні; $a^2 = \sigma / \Delta\rho \cdot g$ – капілярна стала рідини; $\Delta\rho$ – різниця густин рідини і газу; $g = 9,81 \text{ м/с}^2$ – прискорення вільного падіння; r – радіус капіляра; θ – кут змочування.

Враховуючи теорію подібності, яка дозволяє досліджувати кількісні співвідношення між різними параметрами реальних фізичних систем на їх збільшених, чи зменшених моделях і встановлює, що будь-яке кількісне співвідношення між різними фізичними величинами може бути виражене у вигляді функціонального зв'язку між безрозмірними комбінаціями цих величин, можна досліджувати капілярні поверхні (газові містки, краплі рідини на поверхні тощо) у безрозмірному вигляді. Таким чином всі геометричні параметри можуть бути приведеними до одного з них, який приймається за одиницю масштабу. Для газового містка за одиницю масштабу зручно брати радіус r вихідного отвору вертикально встановленого капіляра, між нижнім торцем якого і нижче розміщеною горизонтальною поверхнею твердого досліджуваного тіла утворюється цей газовий місток.

Теоретичне дослідження капілярної поверхні газового містка доцільно провести шляхом моделювання процесу з моменту торкання газового пухирця до поверхні твердого тіла.

Для цього проаналізовано вплив різної форми вихідного торця капіляра, з якого утворюється газовий місток у досліджуваній рідині на процес формування газового містка, що дозволяє уточнити крайові умови, які необхідні для розв'язування системи рівнянь (2). У математичній моделі процесу утворення газового містка

вважаємо стінку капіляра ідеально тонкою, фізичним аналогом якого є так званий. нोजовий капіляр.

При розміщенні початку системи координат в точку дотику газового пухирця до поверхні твердого тіла і, враховуючи реальні параметри фізичної системи "капілярний місток", для системи рівнянь (2) встановлено такі початкові умови і можливі діапазони зміни:

$$\left. \begin{aligned} \varphi_{L=0} = X_{L=0} = Z_{L=0} = 0; \\ 0,7r \leq X \leq 1,5r; \quad 0^\circ \leq \theta \leq 180^\circ; \\ 0,5 \leq Z_r / r \leq 1,5; \quad 1 \leq a^2 / r^2 = \xi \leq 10, \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

де $a^2 = \sigma / \Delta \rho g$ – капілярна постійна досліджуваної рідини, σ – поверхневий натяг рідини.

Заданими геометричними параметрами процесу моделювання капілярної поверхні газового містка є безрозмірна величина $\xi = a^2 / r^2$, безрозмірна відстань від торця капіляра до поверхні твердого тіла (приведене значення Z_r / r), а також ККЗ θ .

Математичне моделювання процесу утворення газового містка здійснювалось шляхом числового інтегрування системи диференціальних рівнянь (2) з початковими умовами (3). Для числового інтегрування вибрано метод Рунге-Кутта четвертого порядку з корекцією похибки по кожному інтегрованому параметру з внесенням поправки, яка визначається з екстраполяційного переходу до границі за Річардсоном, в результаті чого похибка на кроці мала порядок $r \cdot K \cdot h^5$, де $K = K_1 + K_2$, h – величина кроку інтегрування.

В результаті розв'язку системи диференціальних рівнянь (2) для кожного із r^2 / a^2 і всіх можливих θ також розраховувався безрозмірний максимальний тиск у газовому містку $P_{\text{макс}}$ таким чином:

$$P_{\text{макс}} = K_{\text{макс. безр.}} \cdot r^2 / a^2, \quad (4)$$

де $K_{\text{макс. безр.}} = (1 / (R_1 / r) + 1 / (R_2 / r))_{\text{макс}}$ – безрозмірна максимальна кривизна поверхні газового містка в момент максимального тиску в ньому R_1 / r і R_2 / r – безрозмірні радіуси кривизни поверхні газового містка в момент максимального тиску в ньому.

Графічне зображення отриманих результатів приведено на рис. 2.

Для зручності для кожного з конкретних значень ξ шляхом апроксимації методом найменших квадратів були отримані значення коефіцієнтів C_0, C_1, C_2, C_3 залежності

$$\cos \theta = C_0 + C_1 \cdot P_{\text{макс.}} + C_2 \cdot P_{\text{макс.}}^2 + C_3 \cdot P_{\text{макс.}}^3. \quad (5)$$

На основі виміряного максимального тиску в капілярі $P_{\text{вим. макс.}}$ і розмірних значень глибини занурення капіляру в рідину h , його радіусу r і заданої відстані Z значення безрозмірного тиску $P_{\text{макс}}$ слід розраховувати наступним чином:

$$P_{\text{макс.}} = (P_{\text{вим. макс.}} - \Delta \rho g (H + Z_r)) / (\Delta \rho g r), \quad (6)$$

де H – глибина занурення торця капіляра в рідину.

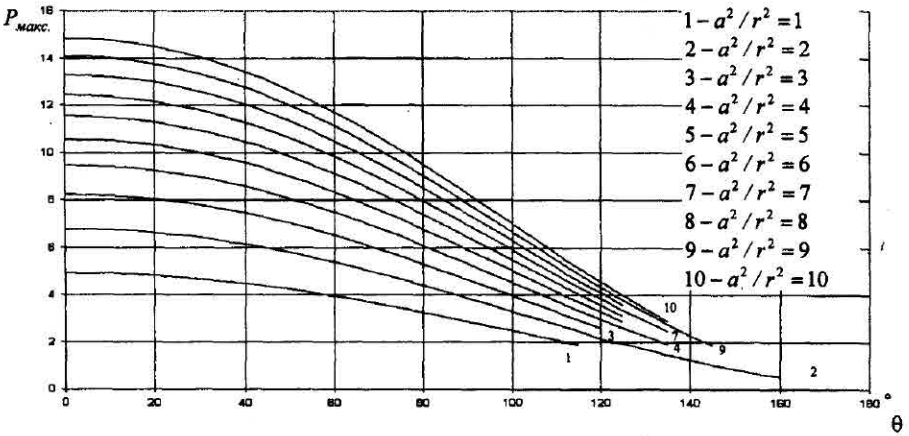


Рис. 2. Отримані графічні залежності максимального тиску в газовому містку від ККЗ

Значення коефіцієнтів C_0, C_1, C_2, C_3 для будь-яких значень параметра ξ в діапазоні його зміни від 1 до 10 рекомендується розраховувати шляхом апроксимації та інтерполяції сплайн-функціями третього порядку або на основі отриманих для цих цілей графічних залежностей (рис.3).

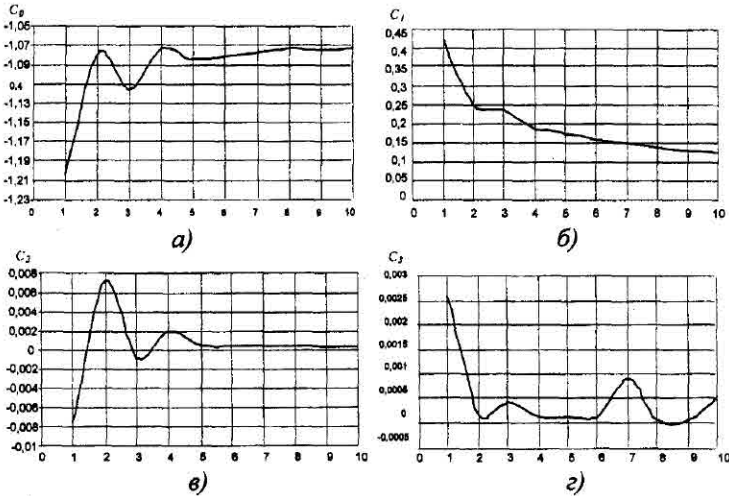


Рис. 3. Поліноміальні коефіцієнти $C_j = f(\xi)$

а) $C_0 = f(\xi)$; б) $C_1 = f(\xi)$; в) $C_2 = f(\xi)$; г) $C_3 = f(\xi)$

З метою оптимального вибору r і діапазону ξ при визначенні ККЗ необхідно знати їх вплив на точність визначення ККЗ згідно виразу (5). Аналіз проведених у

зв'язку з цим досліджень показав, що при збільшенні параметра ξ відносна похибка визначення ККЗ суттєво зменшується і при $\xi \geq 6$ не перевищує 0,35%.

Для досягнення вказаного потрібно, щоб внутрішній радіус вимірювального капіляра не перевищував 0,58 мм.

В цьому розділі також представлені результати моделювання лежачої краплі рідини на поверхні твердого тіла, що теж базується на рівнянні капілярності Юнга-Лапласа (1). Математична модель для лежачої краплі описується системою безрозмірних рівнянь:

$$\left. \begin{aligned} \frac{d\varphi}{dL} + \frac{\sin\varphi}{X} &= \frac{2}{\sqrt{\beta}} - Z; \\ \frac{dX}{dL} &= \cos\varphi; \quad \frac{dZ}{dL} = \sin\varphi; \\ \frac{dS}{dL} &= X \cdot \sin\varphi, \end{aligned} \right\} \quad (7)$$

де $\beta = R_0^2/a^2$ – безрозмірний параметр, що визначає форму поверхні; R_0 – радіус кривизни краплі в омболічній точці лежачої краплі; S – площа меридіанного перерізу краплі.

Параметр β реально змінюється в діапазоні – від 0,1 до 10.

Для розв'язування системи рівнянь (7) у чисельному вигляді задавались такими початковими умовами: $\varphi = L = X = Z = 0$.

Розрахунок кожної лінії профілю починається з омболічної точки. Біжуча точка переміщується по лінії профілю з кроком dL . Дотична до профілю краплі в біжучій точці (X_i, Z_i) визначається кутом нахилу φ_i , який зростає від 0 в омболічній точці до 180° і є крайовим кутом змочування θ для краплі висотою Z_i .

Отримані для кожного фіксованого дискретного значення параметра β набори точок (X_i, Z_i) визначають профіль лежачої краплі.

Площа S меридіанного перерізу краплі вираховується за квадратурною формулою Сімпсона для кожної висоти краплі Z_i . Крім того для кожної біжучої точки (X_i, Z_i) вираховується діаметр основи, максимальний діаметр краплі d_i , відношення d_i/Z_i та S_i/Z_i^2 . Внаслідок обчислень отримано таблиці значень $\varphi_i, S_i/Z_i^2, d_i/Z_i$ для кожного дискретного значення β . Отримані результати були перегруповані шляхом вибирання з таблиць для різних значень β значень S_i/Z_i^2 та d_i/Z_i при однаковому куті φ .

Отримані таким чином табличні дані були апроксимовані поліноміальними залежностями другого порядку для кожного фіксованого φ_i такого виду:

$$S_i/Z_i^2 = b_{0i} + b_{1i} \cdot d_i/Z_i + b_{2i} \cdot (d_i/Z_i)^2, \quad (8)$$

де b_{0i}, b_{1i}, b_{2i} – розраховані значення поліноміальних коефіцієнтів для кожного із φ_i .

Набір залежностей (8) дає можливість розраховувати значення ККЗ шляхом визначення за допомогою спеціальної відеокамери і комп'ютерної обробки зображення лежачої краплі у вигляді параметрів S_i/Z_i^2 та d_i/Z_i .

Суть методу визначення ККЗ таким чином полягає в наступному. На основі вимірянних експериментально значень S_i, d_i, Z_i лежачих крапель значення параметрів S_i/Z_i^2 та d_i/Z_i і порівнюють їх із розрахованими значеннями для різних ККЗ від 1 до 180°. За найменшим відхиленням між цими значеннями на основі розрахованих значень вибирають ККЗ.

В даному розділі також запропоновано ще одне удосконалення оптичного методу контролю ККЗ, яке дозволяє оперативно визначати ККЗ для лежачих крапель будь-якого розміру.

При цьому для аналітичного опису лінії профілю лежачих крапель використано апроксимаційний поліном виду

$$y = a_0 + a_1x + a_2x^2 + a_3x^3, \quad (9)$$

де X, y – координати точки лінії профілю краплі. Величину ККЗ рекомендується знаходити через значення похідної полінома (9) в точці трифазного контакту:

$$\operatorname{tg}\theta = y' = a_1 + 2a_2 \cdot x + 3a_3 \cdot x^2. \quad (10)$$

Коефіцієнти полінома (10) визначені методом найменших квадратів, шляхом розв'язку системи рівнянь

$$\left. \begin{aligned} a_0 N + a_1 \sum_{i=1}^N X_i + a_2 \sum_{i=1}^N X_i^2 + a_3 \sum_{i=1}^N X_i^3 &= \sum_{i=1}^N y_i; \\ a_0 \sum_{i=1}^N X_i + a_1 \sum_{i=1}^N X_i^2 + a_2 \sum_{i=1}^N X_i^3 + a_3 \sum_{i=1}^N X_i^4 &= \sum_{i=1}^N X_i \cdot y_i; \\ a_0 \sum_{i=1}^N X_i^2 + a_1 \sum_{i=1}^N X_i^3 + a_2 \sum_{i=1}^N X_i^4 + a_3 \sum_{i=1}^N X_i^5 &= \sum_{i=1}^N X_i^2 \cdot y_i; \\ a_0 \sum_{i=1}^N X_i^3 + a_1 \sum_{i=1}^N X_i^4 + a_2 \sum_{i=1}^N X_i^5 + a_3 \sum_{i=1}^N X_i^6 &= \sum_{i=1}^N X_i^3 \cdot y_i \end{aligned} \right\} \quad (11)$$

Координати біжучих точок (X_i, y_i) лінії профілю краплі знаходяться шляхом оброблення комп'ютерного зображення краплі та виділення її контура.

Визначені із системи рівнянь (11) коефіцієнти полінома та значення X , яке рівне радіусу основи краплі, підставляються у вираз (10) для знаходження ККЗ θ .

У третьому розділі розглянуто фізичні аспекти змочування твердих пористих тіл рідинами, зокрема проаналізовано вплив змочування на процес витіснення нафти із взірців пористих пластів. Встановлено, що при відсутності зовнішнього тиску вода або водні розчини поверхнево-активних речовин будуть витискувати нафту з капілярних пор пористих порід тільки у випадку, якщо капілярний тиск води (водних розчинів) $P_{кв}$ перевищує капілярний тиск нафти $P_{кн}$, тобто

$$P_{кв} > P_{кн}. \quad (12)$$

Це можливе при умові, що змочуваність стінок пор твердого тіла водою θ_{me} є кращою ніж нафтою θ_{mn} , тобто

$$\theta_{me} < \theta_{mn}. \quad (13)$$

Для контролю змочуваності пористих зразків породи (кernів) запропоновано метод, який базується на вимірюванні капілярного тиску при насиченні твердого тіла досліджуваною рідиною.

Використовуючи рівняння ідеального газу для ізотермічного процесу при зменшенні об'єму газової фази у kernі внаслідок капілярного підймання в ньому рідини, отримана така залежність для визначення ККЗ θ :

$$\cos \theta = \frac{V_0}{S \cdot \xi \cdot \sigma} \cdot \sqrt{2\mu \cdot \frac{P_0}{P} \cdot \left(1 - \frac{P_0}{P}\right) \cdot \frac{dP}{dt}}, \quad (14)$$

де V_0 – об'єм газової фази в kernі до початку його змочування; P_0, P – тиски в порах kernа до і після його змочування; $\mu \sigma$ – в'язкість і поверхневий натяг рідини; ξ – пористість kernа; S – площа його поперечного перерізу.

У четвертому розділі на основі вищевикладених методів контролю змочування розроблено структурні схеми та конструкції:

приладу ВКЗ-1 для контролю ККЗ монолітних твердих тіл методом максимального тиску у газовому містку;

приладу ВКЗО-1 для контролю ККЗ оптичним методом;

приладу ВЗПТ-1 для контролю змочування пористих твердих тіл методом капілярного тиску.

Структурні схеми приладів ВКЗ-1, ВКЗО-1 і ВЗПТ-1 приведені відповідно на рис.4, рис.5 і рис.6.

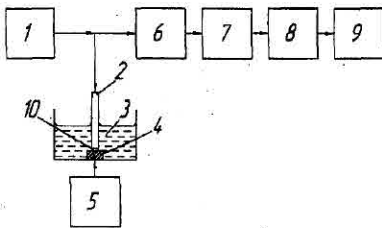


Рис. 4. Структурна схема приладу ВКЗ-1

1 – пневматичний блок; 2 – калібрований капіляр; 3 – досліджувана рідина; 4 – досліджуване тверде тіло; 5 – механізм переміщення; 6 – давач тиску; 7 – електронний блок; 8 – комп'ютер; 9 – монітор; 10 – газовий місток

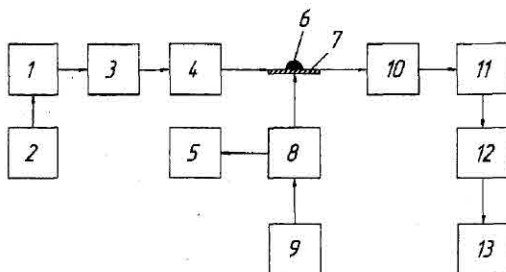


Рис. 5. Структурна схема приладу ВКЗО-1

1 – освітлювач; 2 – блок живлення; 3 – світлофільтр; 4 – матовий екран; 5 – індикатор горизонтальності; 6 – краща рідина; 7 – досліджуваний зразок твердого тіла; 8 – столик; 9 – механізм переміщення столика; 10 – об'єктив; 11 – телекамера; 12 – комп'ю-тер; 13 – дисплей

Для вказаних приладів ВКЗ-1, ВКЗО-1 та ВЗПТ-1 розроблені методики проведення контролю ККЗ θ .

П'ятий розділ присвячений аналізу метрологічних характеристик розроблених приладів. При метрологічному аналізі приладу ВКЗ-1 використано метод структурного аналізу, який полягає у розчленуванні сумарної похибки на окремі складові. Всі складові похибки поділені на систематичні і випадкові. Для систематичних похибок, обумовлених похибкою залежності ККЗ від тиску та похибкою апроксимації поліномів, розраховано поправки. Для випадкових похибок каналу вимірювання, похибок установлення геометричних параметрів схеми вимірювання теоретично розраховані та експериментально визначені середні квадратичні відхилення. Розраховане максимальне значення приведеної сумарної похибки становить 1,49%.

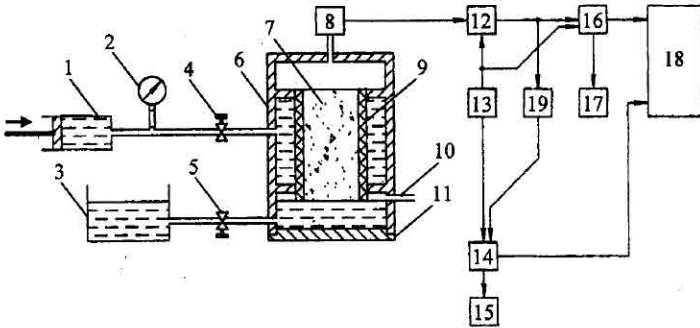


Рис. 6. Структурна схема приладу ВЗПТ-1

1—насос; 2—манометр; 3—резервуар; 4—кран подачі обтискуючої рідини; 5—кран подачі досліджуваної рідини; 6—вимірювальна камера; 7—пористе тіло (кern); 8—давач тиску; 9—гумова манжета; 10—трубка стоку; 11—пробка; 12—підсилювач; 13—блок живлення; 14—вимірювач часу; 15—табло часу; 16—аналого-цифровий перетворювач; 17—табло тиску; 18—ПЕОМ; 19—компаратор

Для метрологічного аналізу приладу ВКЗО-1 теж використано метод структурного аналізу, систематична похибка обчислень не перевищує $1 \cdot 10^{-4}$. Середня квадратична похибка обробки зображення, знайдена диференційним методом, становить $3,9 \cdot 10^{-3}$. Сумарна відносна похибка, яка визначається в основному похибкою обробки зображення, становить 1,16%.

Контроль ККЗ пористих тіл за допомогою приладу ВЗПТ-1 здійснюється на основі аналітичного виразу (14), в якому всі параметри визначаються з відповідними похибками. Тому абсолютна похибка визначається згідно виразу

$$\Delta \cos \theta = \left(\sum_i \left(\frac{\partial (\cos \theta)}{\partial x_i} \right)^2 \cdot (\Delta x_i)^2 \right)^{\frac{1}{2}}, \quad (15)$$

де $\frac{\partial(\cos\theta)}{\partial x_i}$ - частинні похідні за кожним параметром виразу (14), Δx_i - абсолютні похибки визначення кожного параметру x_i у виразі (14).

Визначена згідно (15) абсолютна похибка визначення величини змочування приладом ВЗПТ-1 $\Delta \cos\theta = 0,0223$, а приведена відносна похибка становить $\gamma_d = 2,23\%$.

Шостий розділ присвячений аналізу результатів лабораторних і промислових випробувань виготовлених зразків приладів ВКЗ-1, ВКЗО-1 та ВЗПТ-1 (рис.7 – рис.9). Випробування показали правильність результатів теоретичних досліджень, що лягли в основу цих приладів. Лабораторні та промислові випробування проводились в науково-дослідній лабораторії кафедри “Методи та прилади контролю якості і сертифікації продукції” Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу та на базі лабораторій ДП “Колоран “ Інституту фізхімії НАН України.

Результати випробувань показали достатню точність контролю змочування, можливість визначення ними як рівноважних, так і динамічних значення ККЗ, можливість використання розроблених приладів як для науково-дослідних, так і для промислових цілей.



Рис. 7. Загальний вигляд приладу ВКЗ-1

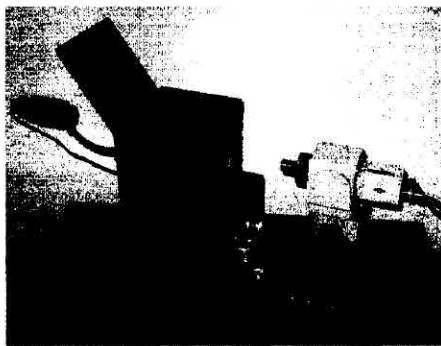


Рис. 8. Загальний вигляд приладу ВКЗО-1

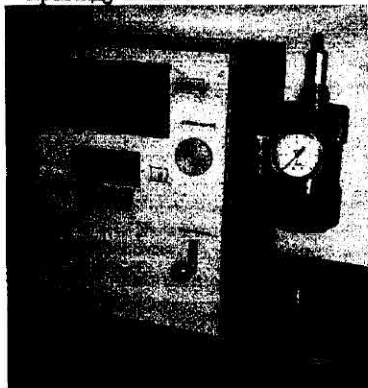


Рис. 9. Загальний вигляд приладу ВЗПТ-1

ВИСНОВКИ

В дисертації приведені запропоновані автором нові методи визначення крайового кута змочування шляхом вимірювання максимального тиску у газовому пухирці, який утворюється у досліджуваній рідині між вихідним отвором ножового капіляра і горизонтальною поверхнею монолітного твердого тіла, а також шляхом вимірювання відповідних розмірів лежачої на твердій поверхні краплі. Крім того значна увага приділена визначенню крайового кута змочування твердих пористих тіл шляхом вимірювання капілярного тиску в процесі заповнення такого тіла рідиною, а також розробці приладів контролю, які реалізують вказані вище методи контролю. При цьому отримані такі основні наукові та практичні результати:

1. На основі аналізу відомих методів та засобів контролю ККЗ обґрунтовано необхідність розроблення нових методів контролю ККЗ, основаних на вимірюванні максимального тиску в газовому містку, на вимірюванні геометричних параметрів профілю краплі рідини на поверхні досліджуваного твердого тіла, а також на вимірюванні капілярного тиску в процесі змочування пористого тіла досліджуваними рідинами. Ці методи є найпридатнішими з точки зору автоматизації процесу контролю ККЗ, забезпечення відповідної точності результатів контролю, простоти реалізації і мінімуму часу на їх проведення.

2. Розроблені математичний опис процесу утворення газового містка між капіляром та досліджуваною поверхнею твердого тіла в рідині, а також методика і програма чисельного розрахунку параметрів газового містка на різних стадіях його утворення. Це дало можливість визначити екстремальні параметри газового містка, зокрема, максимальний тиск в ньому і встановити однозначну залежність вказаного тиску від радіусу капіляру, висоти газового містка, параметрів рідини і ККЗ і, таким чином, запропонувати новий метод контролю ККЗ.

3. Проведено числове моделювання форми лежачої краплі рідини на поверхні твердого тіла, що дало можливість отримати апроксимаційні залежності величини ККЗ, від висоти, максимального діаметра і площі профілю краплі, а також від координат точок лінії профілю краплі біля поверхні твердого тіла. В результаті запропоновані методи контролю ККЗ шляхом вимірювання висоти, площі профілю і максимального діаметру лежачої краплі, а також шляхом вимірювання діаметру основи краплі і координат лінії її профілю.

4. На основі аналізу математичної моделі процесу змочування пористого твердого тіла рідиною одержано аналітичну залежність величини ККЗ від зміни капілярного тиску в пористому тілі внаслідок його заповнення рідиною, в результаті чого розроблено метод контролю ККЗ пористих тіл.

5. Розроблено прилад ВКЗ-1 для контролю ККЗ монолітних твердих тіл за методом максимального тиску в газовому містку, який дозволяє контролювати неперервно в автоматичному режимі кінетику змочування зразка твердого тіла та отримувати інтегральну оцінку змочування.

6. Розроблено оптико-електронний прилад ВКЗО-1 для контролю ККЗ шляхом визначення геометричних параметрів профілю лежачої краплі рідини на поверхні досліджуваного твердого тіла, що дозволяє контролювати процес змочування швидкокипаровуваними рідинами, об'єктів різної форми та встановлювати ізоморфізм поверхні твердого тіла по периметру краплі.

7. Розроблено прилад ВЗПТ-1 для контролю ККЗ пористих твердих тіл (наприклад, кернів нафтоносних порід) шляхом вимірювання швидкості зміни тиску у камері над пористим тілом у процесі його змочування досліджуваною рідиною.

8. Здійснено метрологічний аналіз розроблених приладів для контролю ККЗ монолітних і пористих твердих тіл. В результаті встановлено, що основні приведені похибки вказаних вище приладів є такими: прилад ВКЗ-1 – 1,5%; ВКЗО-1 – 1,6%, ВЗПТ-1 – 2,36%.

9. Проведено лабораторні та промислові випробування розроблених приладів, результати яких підтвердили їх працездатність, а також правильність проведених теоретичних досліджень.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Боднар Р. Т. Визначення крайового кута змочування на границі розділення тверде тіло-рідина методом максимального тиску в газовому пухирці // *Методи та прилади контролю якості*. - 1997. - №1 - С. 55-59.
2. Боднар Р. Т., Бодник А. А., Кісіль Р.І., Стрілецький Ю.Й. Вимірювання крайового кута змочування на границі розділу фаз // *Вимірювальна техніка та метрологія*. - 1998. - №53 - С. 80-83.
3. Боднар Р. Т. Аналіз пневматичної схеми приладу вимірювання крайового кута змочування // *Методи та прилади контролю якості*. - 1998. - №2 - С.28-31
4. Боднар Р. Т., Кісіль І.С. Визначення крайового кута змочування за виміряним тиском в краплі // *Методи та прилади контролю якості*. - 2000. - №5 - С.100-103.
5. Боднар Р. Т. Аналіз впливу параметрів вимірювальної схеми на визначення крайового кута змочування за методом максимального тиску в газовому пухирці // *Методи та прилади контролю якості*. - 2000. - №6 - С.40-42.
6. Боднар Р. Т., Витвицька Л. А., Дранчук М. М. Метрологічний аналіз приладу для вимірювання крайового кута змочування методом максимального тиску у газовому пухирці // *Методи та прилади контролю якості*. - 2002. - № 8 - с 34-37.
7. Казакевич М. Л., Яшина Н. І., Кісіль І. С., Витвицька Л. А., Боднар Р. Т. Нове покоління матеріалів для капілярної дефектоскопії і методи оцінки їх якості // *Методи та прилади контролю якості*. – 2003. - №10 - С.36-40.
8. Боднар Р. Т., Горелов В.О., Кісіль І.С., Степанюк Я.В. Визначення крайового кута змочування рідинами твердих тіл шляхом вимірювання геометричних розмірів лежачої краплі // *Методи та прилади контролю якості*. – 2004. - № 12 – С.38-41.
9. Боднар Р. Т., Дранчук М. М., Білішук В. Б., Костів Б. В. Метод оперативного визначення крайового кута змочування // *Науковий вісник Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу*. – 2005. - № 3 (12) – С.154-161.
10. Кісіль І. С., Боднар Р. Т., Дранчук М.М.. Визначення крайового кута змочування пористих тіл шляхом вимірювання капілярного тиску// "Нафтова і газова промисловість".-2006.- №4 – С.12 – 14.
11. Боднар Р. Т., Кісіль І.С. Прилад для визначення крайового кута змочування за виміряним тиском в капілярному меніску // *Тези науково-технічної конференції професорсько-викладацького складу університету*. - Івано-Франківськ: ІФДУНГ. – 1995. – С.78.

12. Бодник А. А., Боднар Р. Т. Розробка методів неруйнуючого контролю змочуваності пористих тіл // Тези докладів міжнародної конференції "Сучасні прилади, матеріали та технології для технічної діагностики та неруйнівного контролю нафтогазового, хімічного та енергетичного обладнання". - Івано-Франківськ. - 1996. - С.46-48.
13. Витвицька Л. А., Кісіль І. С., Боднар Р. Т. Контроль якості пенетрантів для проведення капілярної дефектоскопії // Тези 4-ї спеціалізованої конференції "Сучасні прилади, матеріали і технології для неруйнівного контролю і технічної діагностики промислового обладнання". - Івано-Франківськ. - 1999. - С.65-66.
14. Боднар Р. Т. Оцінка змочуваності гірської породи розчинами поверхнево-активних речовин // Тези науково-технічної конференції "Підвищення ефективності використання поверхнево-активних речовин в нафтогазовидобутку". - м.Івано-Франківськ. - 2000. - С.113-114.
15. Боднар Р. Т., Кісіль І. С., Ващишак С. П., Витвицька Л. А., Горелов В. О., Яворський А. В., Лютак І. З. Нові розробки засобів і методів неруйнівного контролю кафедри "Методи та прилади контролю якості та сертифікації продукції" // Тези міжнародної науково-технічної конференції "Леотест-2001". - с-ще Славськ Львівської обл. - 2001. - С. 16 – 22 .
16. Боднар Р. Т. Аналіз впливу зовнішніх факторів на вимірювання крайового кута змочування методом МТПП. // Тези науково-технічної конференції професорсько-викладацького складу університету. - м. Івано-Франківськ.- ІФДТУНГ - 1999 р. - С.62-64
17. Кісіль І. С., Боднар Р. Т., Витвицька Л. А., Павлій О. В. Шляхи підвищення якості проведення капілярного методу дефектоскопії // Тези 3-ї науково-технічної конференції "Сучасні прилади, матеріали і технології для неруйнівного контролю технічної діагностики промислового обладнання". - м. Івано-Франківськ. - 2002. - С.62-64.
18. Кісіль І.С., Боднар Р. Т., Витвицька Л.А., Казакевич М.Л., Яшина Н.І. Методи та засоби вимірювання якісних параметрів пенетрантів // Тези доповідей другої науково-технічної конференції "Приладобудування". - м. Київ. - 2003. - С.161-162.

АНОТАЦІЯ

Боднар Р.Т. Розроблення методів та засобів контролю змочуваності твердих тіл рідинами – 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, 2006.

Дисертація присвячена питанню контролю змочуваності твердих тіл рідинами. Запропоновано нові методи контролю змочуваності твердих тіл рідинами, які дозволяють оперативно контролювати як рівноважний крайовий кут змочування, так і кінетику змочування.

Створено математичні моделі газового містка, між поверхнею зразка твердого тіла і торцем каліброваного капіляра у досліджуваній рідині, краплі досліджуваної рідини на поверхні твердого тіла та процесу змочування пористих тіл. Отримано залежності кута змочування від максимального тиску в газовому містку і від

геометричних параметрів профілю лежачої краплі, а також залежність кута змочування пористих тіл від швидкості зміни капілярного тиску при змочуванні їх рідинами.

Запропоновано для контролю змочуваності монолітних твердих тіл рідинами метод максимального тиску у газовому містку та метод, що базується вимірювання геометричних параметрів лежачої краплі, а для контролю пористих тіл метод який базується на вимірюванні капілярного тиску.

Розроблено прилад: ВКЗ-1, який реалізує запропонований метод контролю змочуваності монолітних тіл за максимальним тиском у газовому містку; прилад ВКЗО-1, який реалізує запропонований оптичний метод контролю змочуваності на основі результатів вимірювання геометричних параметрів лежачої краплі; прилад ВЗПТ-1, який реалізує запропонований метод контролю змочуваності пористих тіл шляхом вимірювання капілярного тиску та швидкості його зміни при змочуванні пористих тіл рідинами. Розроблено методики проведення контролю за допомогою цих приладів.

Визначено сумарні похибки розроблених засобів для контролю змочуваності твердих тіл рідинами.

Проведені лабораторні і промислові випробування розроблених засобів для контролю змочуваності монолітних та пористих твердих тіл рідинами.

Ключові слова: тверде тіло, рідина, змочуваність, крайовий кут змочування, газовий місток, меніск, лежача крапля, пористе тверде тіло.

АННОТАЦИЯ

Боднар Р.Т. Разработка методов и средств контроля смачиваемости твердых тел жидкостями – Рукопись.

Диссертация на соискание ученой 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, 2006.

Диссертация посвящена вопросу контроля смачиваемости твердых тел жидкостями.

Поверхностные свойства на границе раздела трех фаз (твердое тело-жидкость-газ) время характеризуются краевым углом смачивания (КУС). Известные в настоящее время средства измерения КУС, которые используются в научно-исследовательских и заводских лабораториях, базируются на прямых измерениях и являются низкопроизводительными, не позволяют автоматизировать процесс измерения, не позволяют исключить влияние субъективных факторов на результаты измерения. Наличие достоверной информации о КУС является очень важным фактором для таких технологических процессов, как нефтедобыча, покрытие металлических и неметаллических изделий различными веществами и т. п. По этому проблема определения КУС твердых материалов жидкостями является актуальной задачей.

Предложено новые методы контроля смачиваемости твердых тел жидкостями. Методы разрешают оперативно контролировать как равновесный краевой угол смачивания, так и кинетику смачивания.

Созданы математические модели газового мостика между поверхностью образца твердого тела и торцом калиброванного капилляра у испытываемой жидкости капли испытываемой жидкости на поверхности твердого тела и процесса смачивания пористых тел. Получены зависимости величины смачиваемости от максимального давления в газовом мостике и от геометрических параметров профиля лежащей капли, а также зависимость величины смачиваемости пористых тел от скорости изменения капиллярного давления при смачивании их жидкостями.

Предложено для контроля смачиваемости сплошных твердых тел жидкостями метод максимального давления в газовом мостике и метод измерения геометрических параметров лежащей капли, а для контроля смачиваемости пористых тел метод определения скорости изменения капиллярного давления.

Сущность метода максимального давления в газовом мостике состоит в том, что из выходного отверстия капилляра ножевой формы выдавливают газовой пузырек, который, касаясь горизонтальной поверхности исследуемого твердого тела, образует газовый мостик и при дальнейшем увеличении давления образуется снова в газовый пузырек большего размера и всплывает. При этом давление в определенный момент времени достигает максимального значения, которое является функцией глубины погружения капилляра, плотности и поверхностного натяжения исследуемой жидкости, внутреннего радиуса капилляра, расстояние от его торца до поверхности твердого тела и КУС.

Предложенный оптический метод определения КУС предполагает наличие специальных оптической аппаратуры для фиксирования и оцифирования профиля лежащей капли жидкости на поверхности исследуемого твердого тела с последующим определением аппроксимирующих зависимостей между площадью меридианного сечения капли и ее диаметром для каждого из углов смачивания от 0° до 180° через 1° , или нахождением значений производных из уравнения профиля капли в точке контакта жидкости с твердой поверхностью.

Сущность методики определения смачиваемости пористых тел состоит в том, что в процессе смачивания пор этого тела рассчитывают кроме прочих также и скорость изменения капиллярного давления над пористым телом, а значение КУС рассчитывают на основании полученной аппроксимационной зависимости.

Разработано прибор ВКЗ-1, который осуществляет предложенный метод контроля смачиваемости по максимальному давлению в газовом мостике; прибор ВКЗО-1, который осуществляет предложенный оптический метод контроля смачиваемости по измерениям геометрических параметров лежащей капли; прибор ВЗПТ-1, который реализует предложенный метод контроля смачиваемости пористых тел по скорости изменения капиллярного давления при смачивания их жидкостями. Разработано методики проведения контроля с помощью этих приборов.

Определены суммарные погрешности разработанных средств для контроля смачиваемости твердых тел жидкостями.

Проведены лабораторные и промышленные испытания разработанных средств для контроля смачиваемости сплошных и пористых твердых тел жидкостями.

Ключевые слова: твердое тело, жидкость, смачиваемость, краевой угол смачивания, газовый мостик, мениск, лежащая капля, пористое твердое тело.

ABSTRACTS**Bodnar R.T. Development of methods and controls by liquids wettability of solids – Manuscript.**

Dissertation on the gaining of scientist of rank of candidate of engineering sciences after speciality 05.11.13 Devices and methods of control and determination of composition of matters. it is the Ivano-Francovsk national technical university of oil and gas, Ivano-Francovsk, 2006.

Dissertation is devoted to the question of control of wettability of solids by liquids. It is offered new methods of control of wettability of solids by liquids. Methods allow operatively to control both the balanced regional corner of moistening and kinetics of moistening.

Mathematical models are created: gas bridge, standard of solid formed between a surface and butt end of capillary in the explored liquid; drops of the explored liquid on-the-spot solid and process of moistening of porous bodies. Dependences of value of wettability are collected from maximal pressure in a gas bridge and from the geometrical parameters of profile of lying drop, and also analytical dependence of value of wettability of porous bodies on speed of changing of capillary pressure at moistening by their liquids. The method of maximal pressure is offered for the control of wettability of monolithic solids by liquids in a gas bridge and method of measuring of geometrical parameters of lying drop, but for the control which will realize the offered method of control Devices are developed: BK3-1 is which will realize the offered method of control of wettability after maximal pressure in a gas bridge; BK3O-1 is which will realize the offered optical method of control of wettability after measuring of geometrical parameters of lying drop; B3IIT-1 is which will realize the offered method of control of wettability of porous bodies after speed of changing of capillary pressure at moistening by their liquids. The methods of leadthrough of control are developed for help of the developed devices.

Certainly total errors of the developed facilities for the control of wettability of solids by liquids Conducted models tests of the developed facilities for the control of wettability of monolithic and porous solids by liquids

Keywords: solid; liquid; wettability; regional corner of moistening, gas bridge; lying drop; porous solid, moistening.