



УКРАЇНА

(19) UA (11) 48429 (13) A

(51) 6 G01N13/02

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ  
І НАУКИ УКРАЇНИДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ  
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ  
ВЛАСНОСТІОПИС  
ДО ДЕКЛАРАЦІЙНОГО ПАТЕНТУ  
НА ВІНАХІДВидається під  
відповідальність  
власника  
патенту

## (54) СПОСІБ ВИЗНАЧЕННЯ ПОВЕРХНЕВОГО НАТЯГУ І ПРИСТРІЙ ДЛЯ ЙОГО РЕАЛІЗАЦІЇ

1

2

(21) 2001075192

(22) 20 07 2001

(24) 15 08 2002

(46) 15 08 2002, Бюл. № 8, 2002 р.

(72) Горєлов Віталій Олександрович, Кісіль Ігор Степанович

(73) ІВАНО-ФРАНКІВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ  
ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ НАФТИ І ГАЗУ

(57) 1 Спосіб визначення поверхневого натягу, який передбачає одержання зображення краплі за допомогою відеокамери, отримання координат точок контура меридіанного перерізу краплі шляхом сегментації її відеозображення, який відрізняється тим, що знаходять радіуси кривизни капілярної поверхні для довільної точки та

вершини краплі, що належать меридіанному перерізу в двох взаємно перпендикулярних напрямках, за якими розраховують значення поверхневого натягу

2 Пристрій для здійснення способу, який складається із джерела світла, колімаційної лінзи, матового скла, щілини, об'єктива, відеокамери, які утворюють оптичний блок, сільфона, трійника, вентиля, що утворюють блок формування краплі, пристроєм відеозахоплення, комп'ютера, монітора, який відрізняється тим, що у блок формування краплі додатково вводиться ножовий капіляр, встановлений гострим торцем угору з можливістю переміщення у площині, перпендикулярній до оптичної осі приладу, та обертання навколо своєї осі

Вінахід належить до техніки вимірювання фізико-хімічних характеристик рідин і може бути використаний у нафтовій, хімічній та інших галузях народного господарства

Відомі способи визначення поверхневого натягу методом лежачої краплі шляхом визначення геометричних розмірів краплі за допомогою проектування з наступним проведенням допоміжних побудов і використанням даних табличних залежностей (Межфазная тензиометрия /А И Русанов, В А Прохоров – СПб Химия, 1994 – 400 с.)

Недоліком цих способів є значна похибка, яка отримується в результаті проведення проектування зображення краплі на екран, фотографування його, наступного збільшення і визначення геометрії профілю за фотографіями. Використання табличних залежностей також вносить похибку. У випадку застосування вимірювальних мікроскопів для знаходження координат контуру меридіанного перерізу краплі (далі – контуру) час, потрібний для проведення вимірювання координат точок контуру, співрозмірний із швидкістю випаровування деяких речовин, що робить неможливим визначення поверхневого натягу таких речовин вказаним способом.

Відомі пристрої для визначення величини поверхневого натягу рідин, суть яких полягає у вимірюванні розмірів краплі шляхом проектування її зображення на екран і фотографування або отримання зображення за допомогою відеокамери та

інші, менш поширені (Межфазная тензиометрия /А И Русанов, В А Прохоров – СПб Химия, 1994 – 400 с.)

Недоліки перших аналогічні недолікам способу визначення поверхневого натягу, описаному вище, оскільки будова таких пристроїв визначається способом визначення шуканої величини. Пристрої, в яких для визначення координат точок контуру краплі використовуються вимірювальні мікроскопи, не можуть забезпечити високу точність визначення поверхневого натягу, оскільки час, необхідний для вимірювання координат великої кількості точок, значний. Найбільш досконалими є пристрої, суть яких полягає у використанні відеотехніки для визначення геометричних розмірів краплі, однак вони не забезпечують повноти використання інформації, оскільки не передбачають можливості знаходити координати точок, що належать контуру краплі, для різних меридіанних перерізів.

Найближчим за технічною суттю є спосіб визначення поверхневого натягу, який полягає в тому, що попередньо формують зображення краплі на поверхні чутливого елемента відеокамери з наступною дискретизацією отриманого відеосигналу і запам'ятовуванням отриманого результату у ЕОМ, що проводить обробку ДАП, за допомогою ЕОМ визначається контур краплі на межі розділу трьох фаз (поверхні твердого тіла, рідини і оточуючої атмосфери). За результатами розрахунку проводиться аналітична апроксимація отриманого

(19) UA (11) 48429 (13) A

контуру поліномом відповідного ступеня і оцінка крайового кута. Значення останнього, отримане після обробки за відомими алгоритмами, дозволяє визначити значення поверхневого натягу у точці поверхні (РЖ ВНИИТИ – 1990 – 11 32 1004 Заявка ФРГ №38088606, опубл 5 10 89)

Недоліком прототипу є використання результатів обчислення крайового кута змочування для визначення поверхневого натягу. Відомо, що досягнути однорідності крайового кута змочування уздовж лінії контакту фаз важко внаслідок дії таких чинників: 1) на крайовий кут змочування можуть впливати залишки речовин, що забруднюють поверхню, на якій лежить крапля (різка зміна змочування відбувається вже при утворенні на поверхні мономолекулярного шару, для чого потрібна мізерна кількість забруднюючої речовини), 2) на змочуваність твердого тіла впливає шорсткість його поверхні. Існують інші фактори, що впливають на змочуваність поверхні, дія яких виражена слабше. Неоднорідність крайового кута змочування уздовж лінії контакту фаз викликає відхилення від симетрії меридіанного перерізу краплі, що впливає на остаточний результат.

Найближчим за технічною суттю є пристрій по запропонованому вище способу, який складається з оптичного блока, блока формування краплі, відеокамери, ЕОМ (РЖ ВНИИТИ – 1990 – 11 32 1004 Заявка ФРГ №38088606 опубл 5 10 89)

Прототип характеризується формуванням краплі на горизонтальній пластині, що не забезпечує однорідності крайового кута змочування уздовж лінії контакту тверде тіло – рідина – оточуюча атмосфера. Таке формування краплі у вказаному пристрої не дозволяє досягнути симетричності утвореної краплі, що суттєво збільшує похибку результатів вимірювання.

В основу винаходу покладена задача створення способу визначення поверхневого натягу і пристрою для його здійснення шляхом визначення радіусів кривизни поверхні краплі у двох взаємноперпендикулярних перерізах для довільної точки профілю краплі, а також переходом від формування краплі на горизонтальній пластині до утворення її на вертикально встановленому ножовому капілярі (тонкостінній трубці із гострою кромкою), причому гостра кромка капіляра направлена угору.

Використання радіусів кривизни поверхні краплі у довільній її точці та вершині, що належать меридіанному перерізу краплі, для визначення поверхневого натягу дозволяє відмовитись від оцінки крайового кута змочування, який характеризується значною неоднорідністю уздовж лінії контакту тверде тіло – рідина – оточуюча атмосфера, що сприяє підвищенню точності знаходження шуканої величини.

Утворення краплі на торці вертикально встановленого ножового капіляра (направленого гострою кромкою угору, оскільки кромка виступає лінією контакту тверде тіло – рідина – оточуюча атмосфера і повинна бути розташована у горизонтальній площині) дає можливість значною мірою зменшити вплив неоднорідності крайового кута змочування на форму краплі (на її осьову симетрію), що підвищує точність визначення поверхневого натягу. Здатність капіляра обертатися навко-

ло своєї вісі дозволяє використати одну і ту ж краплю для проведення кількох визначень поверхневого натягу шляхом повороту капіляра на певний кут і наступного усереднення отриманих результатів. Останнє веде до зменшення похибки визначення шуканої величини.

Поставлена задача вирішується способом для визначення поверхневого натягу, який полягає у наступному. Контур краплі розбивається (фіг. 1) на дві симетричні відносно осі Z частини, після чого одну із них розбивають на j горизонтальних ділянок (наприклад,  $j \geq 6$ ). Контур кожної із ділянок (за виключенням ділянки, що контактує із підложкою краплі) додатково ще розбивають на k дрібних підділянок (наприклад,  $k > 4$ ). Розбивку на окремі ділянки і підділянки здійснюють, наприклад, пропорційно висоті краплі z. Контур кожної із підділянок оцифровують, тобто за допомогою відповідної відеотехніки, яка буде описана нижче, вимірюють координати  $z_{jk}$  і  $x_{jk}$  для всіх j і k, включаючи і координати контуру, що відповідають крайнім (верхній і нижній) площинам j-ділянки. На основі отриманих таким чином координат ( $z_{j1}, z_{j2}, \dots, z_{jk}$ ) і ( $x_{j1}, x_{j2}, \dots, x_{jk}$ ) контур кожної із j-ділянок (крім контуру, що включає т. О) з достатньою точністю описують у вигляді поліноміальної залежності виду  $z_j = f(x)$ . Для одержання поліноміальної залежності ділянки контуру, що включає т. О, використовують координати окремих підділянок контуру цієї ділянки як справа, так і зліва від осі Z. Після цього розраховують значення параметрів  $1/R_{1j}$  і  $1/R_{2j}$ , контуру краплі для серединної площини січення кожного із j-ділянок за виключенням ділянки, що включає т. О. Для цього використовують такі відомі залежності (Адамсон А. Физическая химия поверхностей Пер с англ / Под ред. З.М. Зорина, В.М. Муллера – М Мир, 1979 – 568 с)

$$\frac{1}{R_{1j}} = z_j / (1 + z_j^2)^{3/2}, \quad (1)$$

$$\frac{1}{R_{2j}} = z_j / x (1 + z_j^2)^{1/2}. \quad (2)$$

де  $z_j'$ ,  $z_j''$  – відповідно перша та друга похідні від функції  $z_j$  по  $x$ . Для ділянки, що включає т. О, знаходимо аналогічно (1) значення  $1/b$ , де  $b$  – радіус кривизни у точці О. На основі отриманих значень  $1/R_{1j}$ ,  $1/R_{2j}$ ,  $1/b$  розраховують значення поверхневого натягу  $\sigma_j$  для кожної із j-ділянок за допомогою залежності

$$\sigma_j = \frac{\Delta \rho g z_j}{\frac{1}{R_{1j}} + \frac{1}{R_{2j}} - \frac{2}{b}}, \quad (3)$$

де z – вертикальна координата точки поверхні краплі. Слід зауважити, що чим точніше будуть визначені значення параметрів  $1/R_{1j}$ ,  $1/R_{2j}$ ,  $1/b$  і z, тим менше будуть відрізнятися значення  $\sigma_j$  між собою. Бажано досягнути, щоб значення  $\sigma_j$  відрізнялися між собою не більше, ніж на 0,01 мН/м, що задовольняє вимогам щодо точності результатів вимірювання поверхневого натягу  $\sigma$ . У випадку, коли вказані відхилення будуть більшими за

0,01 мН/м, необхідно розрахувати середнє значення  $\sigma$

$$\bar{\sigma} = \frac{\sum_{j=1}^n \sigma_j}{n}, \quad (4)$$

де  $n$  – кількість точок для яких визначалося  $\sigma$ . При необхідності існує можливість повернути капіляр навколо його вертикальної осі і повторити усе вищеприписане. Знаходження величини поверхневого натягу з використанням декількох профілів краплі, отриманих шляхом повертання капіляра на певний кут, дає можливість знайти середнє значення таких визначень і тим самим підвищити точність отримання результату. Суттєвою ознакою способу є визначення радіусів кривизни для довільної точки поверхні краплі у двох взаємноперпендикулярних перерізах.

Поставлена задача вирішується пристроєм для здійснення заявленого способу, який складається із джерела світла, колімаційної лінзи, матового скла, щілини (прямокутної), вертикально встановленого ножового капіляра (гостра кромка якого направлена угору), сильфона, вентиля, пристрою відеозахоплення, комп'ютера, монітора, причому джерело світла, колімаційна лінза, крапля, що формується на торці ножового капіляра та відеокамера розташовані на одній оптичній осі. Матове скло використовується з метою отримання фону, освітленість якого контрастує із освітленістю краплі, що дає можливість проводити сегментацію зображення, яка отримується за допомогою відеокамери. Суттєвою умовою отримання зображення краплі, що відповідає меридіональному перерізові краплі, є паралельність променів світла. Останнє досягається шляхом використання колімаційної лінзи. Сприяє цьому і щілина. Оптична частина пристрою дозволяє отримати контрастне зображення краплі на світлому фоні. Потужність джерела світла вибирається із міркувань забезпечення достатньої яскравості фону. Для зручності регулювання і отримання оптимального зображення краплі вузол формування краплі (що містить капіляр) забезпечує переміщення у вертикальному і горизонтальному напрямках у площині, перпендикулярній до оптичної осі пристрою. Між ножовим капіляром і сильфоном встановлено U-подібне з'єднання. Права частина з'єднання (за фіг. 2), ближча до сильфона, містить трійник, вхід якого з'єднано із виходом вентиля. Вхід вентиля вільний і служить для введення у систему досліджуваної рідини. Така конструкція формувача краплі усуває можливість утворення повітряних пробок, а також запобігає появі проблем, пов'язаних із осіданням краплі, що виникає при неповному заповненні капіляра рідиною у випадку заповнення капіляра через торець. Особливістю пристрою є можливість повертати капіляр із сформованою краплею на-

вколо вертикальної осі капіляра, що дає можливість отримувати декілька контурів однієї краплі з метою більш повного використання інформації про об'єкт (краплю).

Суть винаходу пояснюється фігурами графічного зображення, де на фіг. 1 – профіль лежачої краплі, на фіг. 2 – схема приладу, що пояснює запропонований метод лежачої краплі.

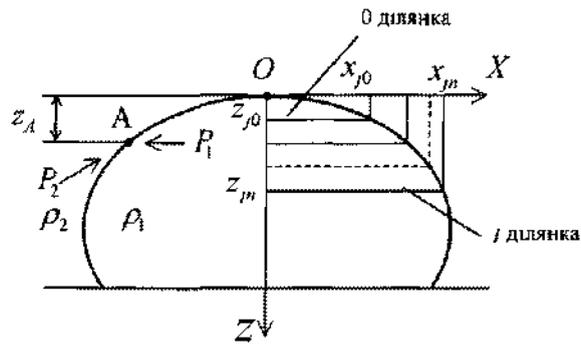
Пристрій складається з 1 – джерела світла, 2 – колімаційної лінзи, 3 – матового скла, 4 – щілини, 6 – вертикально встановленого ножового капіляра (на якому утворюється крапля 5) з механізмом переміщення у вертикальному і горизонтальному напрямках, 7 – об'єктива, 8 – відеокамери, 9 – сильфона, 10 – трійника, 11 – вентиля, 12 – з'єднувальних трубок, 13 – пристрою відеозахоплення, 14 – комп'ютера, 15 – монітора.

Пристрій працює таким чином. Для заповнення капіляра 6 досліджуваною рідиною відкривається вентиль 11 і через трубку 12 система заповнюється рідиною. Необхідний для проведення вимірювання об'єм є таким, за якого забезпечується повне заповнення коліна в момент формування краплі. Дотримання цієї умови запобігає появі повітряних пробок. Після заповнення рідиною системи вентиль 11 закривається. Формування краплі необхідного розміру досягається за рахунок зменшення об'єму сильфона 9. При цьому зображення краплі не повинно виходити за межі поля зору відеокамери. Колімаційна лінза 2 формує потік паралельних променів від джерела світла, який освітлює матове скло 3. Щілина 4 усуває частину світлового потоку, яка не несе інформації про досліджуваний об'єкт і запобігає додатковому освітленню краплі. У результаті такої побудови освітлювача збільшене об'єктивом 6 зображення утворюється на світлочутливій матриці відеокамери 7 і передає його у запам'ятовуючий пристрій ЕОМ. Програмним забезпеченням здійснюється сегментація дискретизованого зображення (розподіл точок на 2 категорії такі, що належать фону, і такі, що належать об'єкту). Після цього визначається контур краплі. Наступним є проведення апроксимації отриманого контуру поліномом і обчислення значень радіусів кривизни поверхні краплі у двох взаємно-перпендикулярних перерізах для довільної точки поверхні, що знаходиться вище лінії екваторіального діаметра краплі, якщо такий існує. Останній етап – обчислення значення поверхневого натягу у даній точці поверхні з використанням раніше отриманих величин. За необхідності може бути здійснений поворот капіляра з утвореною краплею на певний кут, після чого описані вище етапи роботи програмного забезпечення повторюються. Результати визначення поверхневого натягу деяких речовин вказаними способом і приладом наведено у таблиці.

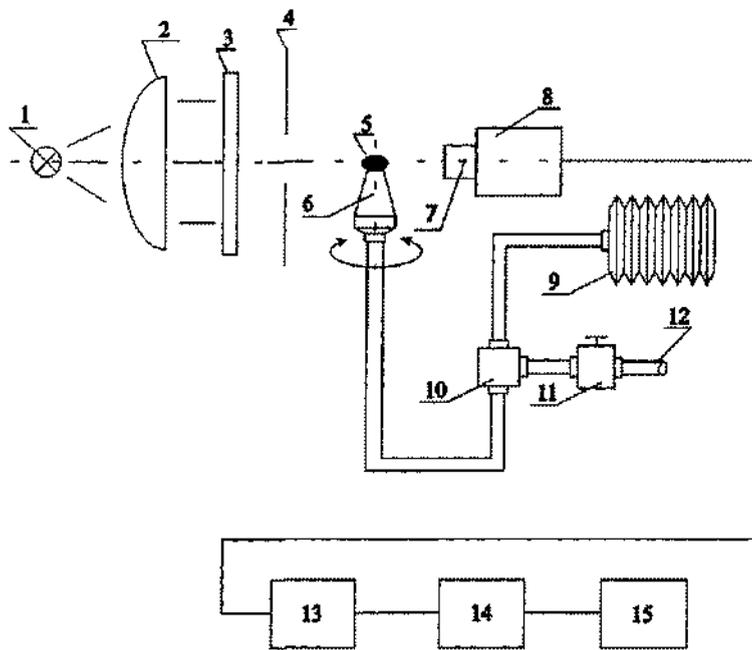
Таблиця

Поверхневий натяг деяких речовин, знайдений за запропонованим способом

Речовина	Температура, °С	Пов. натяг, Мн/м
Вода	20	72,7
Глицерин	20	66,0
Етиленгліколь	20	46,7



Фиг. 1



Фиг. 2

ДП «Український інститут промислової власності» (Укрпатент)  
 вул. Сим'ї Хохлових, 15, м. Київ, 04119, Україна  
 (044) 456 – 20 – 90

ТОВ «Міжнародний науковий комітет»  
 вул. Артема, 77, м. Київ, 04050, Україна  
 (044) 216 – 32 – 71