

Необхідно зазначити, що запропонована нами математична модель, яка описує інерційний механізм сепарації газорідинної суміші не є абсолютною досконалою і позбавленою недоліків. Основним її недоліком є те, що вона дещо спрощена і не враховує деякі процеси (конденсацію, коагуляцію і подрібнення крапель), які можуть відбуватися всередині сепаратора і носити нерівноважний характер. Хоча при великих швидкостях руху газорідинної суміші, внаслідок малого часу її перебування в сепараторі вони, на нашу думку, не будуть визначальними і не змінюють характер основних залежностей, отриманих на основі запропонованої моделі. Іншим недоліком є те, що в даній роботі ми не розглянули процес осідання крапель рідини при проходженні газорідинної суміші через щілини внутрішнього циліндра і вихрового характеру її руху у внутрішньому циліндрі. Проте ми вважаємо цей процес другорядним порівняно з процесом осідання крапель рідини на внутрішній поверхні зовнішнього циліндра під дією відцентрової сили, який ми вважаємо визнача-

льним. Врахування і виправлення зазначених вище недоліків буде предметом подальших теоретичних і експериментальних досліджень. На завершення зазначимо, що отримані залежності дозволяють визначати ефективність розділення газорідинної суміші в сепараторах заданої конструкції при різних режимах експлуатації, а також вказати конструктивні параметри, які дозволяють досягнути заданої ефективності.

Література

- 1 Гусейнов Ч.С., Асатурян А.Ш. Определение модального размера капель в двухфазном потоке // Прикладная химия. – 1977. – Т. 50. – Вып. 4. – С. 848–853.
- 2 Левич В.Г. Физико-химическая гидродинамика. – М.: Физматгиз, 1959.
- 3 Мустафаев А.М., Гутман Е.М. Гидроциклоны в нефтедобывающей промышленности. – М.: Недра, 1981. – 260 с.
- 4 Смыслов В.В. Гидравлика и аэродинамика. – К.: Вища школа, 1979. – 336 с.

УДК 681.2:532.64

УСТАНОВКА ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ І ПОРІВНЯННЯ ПОВЕРХНЕВОГО НАТЯГУ ДИФЕРЕНЦІАЛЬНИМ МЕТОДОМ

Н.С.Дячук, Я.Д.Климишин, О.С.Дорошенко

ІФНТУНГ, 76019, Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15, тел. (03422) 42195,
e-mail: public@nuing.edu.ua

Охарактеризованы методы определения поверхностного натяжения на границе раздела "жидкость – газ". Описан дифференциальный метод определения поверхностного натяжения, который позволяет непрерывно определять изменение поверхностного натяжения в двух разных сосудах во время действия на одну из них (изменение температуры, добавка химреагентов, действием электрического и магнитного полей).

The characterized methods of definition of a superficial tension on the verge of the unit a liquid - gas. The described differential method of definition of a superficial tension which allows to determine continuously change of a superficial tension in two different vessels during action on one of them (change of temperature, the additive of chemical reagents, action of electric and magnetic fields)

Однією з важливих властивостей рідини є поверхневий натяг. Поверхневий натяг, створений поверхнею рідини, відіграє важливу роль у багатьох процесах: фільтрації, піноутворення, відмивання поверхні та інших. Отже його вивчення та вимірювання відіграють важливу роль в техніці.

Визначенням поверхневого натягу займалися багато вчених. Зокрема, багато ними ж фундаментальних досліджень з цього питання виконано І.С. Кісілем [1].

Поверхневий натяг - найважливіша термодинамічна характеристика поверхні розділу фаз (тіл), яка визначається як робота зворотного ізотермічного утворення одиниці площі поверхні. У разі рідкої поверхні розділу поверхневий натяг також розглядають як силу, що діє на одиницю довжини контура поверхні і прагне скоротити поверхню до мінімуму при заданих

об'ємах фаз. Поверхневий натяг на межі двох конденсуючих фаз називається міжфазним натягом. Робота утворення нової поверхні витрачається на подолання сил міжмолекулярного зчеплення (когезії) під час переходу молекул речовини із об'єму тіла в поверхневий шар. Рівнодіюча міжмолекулярних сил у поверхневому шарі не рівна нулю (як в об'ємі тіла) і направлена всередину фази з більшою когезією. Таким чином, поверхневий натяг - міра некомпенсованих міжмолекулярних сил у поверхневому (міжфазному) шарі.

Поверхневий натяг є наслідком існування внутрішнього тиску – сили, що втягує молекули всередину рідини, і направленої перпендикулярно до поверхні. Внутрішній тиск тим вищий, чим полярніша речовина, оскільки причиною його є дія молекулярних сил. Внутрішній тиск втягує всередину молекули, розташовані

Таблиця 1 – Коефіцієнт поверхневого натягу рідин

Речовина	Температура, К	Поверхневий натяг, Н/м	Речовина	Температура, К	Поверхневий натяг, Н/м
Ацетон	293	0,0233	Нафта	293	0,026
Бензол	293	0,0289	Ртуть	273	0,4795
Вода	273	0,0756	Ртуть	373	0,456
Вода	293	0,0727	Толуол	293	0,0285
Вода	323	0,0679	Спирт метиловий	293	0,0232
Вода	373	0,0588	Спирт етиловий	273	0,0241
Гліцерин	293	0,0657	Спирт етиловий	293	0,0223
Ефір етиловий	293	0,0171	Спирт етиловий	333	0,0184
Масло касторове	293	0,0364	Мурашина кислота	290	0,0375
Парафінове масло	298	0,0264	Мурашина кислота	363	0,0308
Анілін	293	0,0429	Мильний розчин	293	0,040

на поверхні рідини, тим самим намагаючись мінімізувати площу поверхні за заданих умов [2].

Поверхневий натяг тим вищий, чим сильніша взаємодія між молекулами чи іншими частинами, що формують фазу. У твердих тілах поверхневий натяг повинен бути, зазвичай, вищим ніж у рідин. Деякі приклади наведені в таблиці 1 [3].

Поверхневий натяг не є постійною величиною. Він залежить від температури, природи середовищ, що контактують, природи і концентрації розчинених речовин. Із підвищенням температури рідини збільшується середня відстань між її частинками, а отже сили молекулярного притягання зменшуються. Це означає, що поверхневий натяг має залежати також і від температури. Досвід показує, що із підвищенням температури рідини поверхневий натяг зменшується і за умови критичної точки, коли густини рідини і пари однакові, поверхневий натяг дорівнює нулю.

Поверхневий натяг істотно залежить від домішок до рідин. Поверхнево-активні речовини при додаванні до води можуть збільшувати або зменшувати поверхневий натяг. Найбільш відомою поверхнево-активною речовиною для води є мило. Воно сильно зменшує її натяг (приблизно з $7,5 \cdot 10^{-3}$ до $4,5 \cdot 10^{-3}$ Н/м). Зменшують його також ефіри, спирти, нафта та багато інших рідких і твердих речовин. З молекулярної точки зору вплив поверхнево-активних речовин пояснюється тим, що сили притягання між молекулами самої рідини більші за сили притягання між молекулами рідини і домішок. Тому молекули рідини, розташовані біля поверхневого шару, з більшою силою втягуються всередину рідини, ніж молекули домішок. Внаслідок цього молекули рідини переходять з поверхневого шару вглиб її, а молекули поверхнево-активної речовини витісняються на поверхню.

Завдяки поверхневому натягу рідин за відсутності зовнішніх силових дій приймає форму кулі, що відповідає мінімальній величині поверхні і, отже, якнайменшому значенню вільної поверхневої енергії. Поверхневий натяг

не залежить від величини і форми поверхні, якщо об'єми фаз достатньо великі порівняно з розмірами молекул; при підвищенні температури, а під дією поверхнево-активних речовин він зменшується. Розплави металів мають найбільший серед рідин поверхневий натяг, наприклад для платини при температурі 2000°C – $1,820$ Н/м, у ртуті при температурі 20°C – $0,484$ Н/м. Поверхневий натяг розплавлених солей значно менший – від декількох десятків до $0,2$ - $0,3$ Н/м, у більшості органічних розчинників – в межах $0,02$ - $0,06$ Н/м. Найменше значення поверхневого натягу при кімнатній температурі – менше $0,01$ Н/м мають деякі фтороводневі рідини.

Контроль поверхневого натягу ПАР у процесі їх виробництва і використання є важливою техніко-економічною задачею, яка зумовлена, як високою вартістю процесу отримання ПАР, так і широким застосуванням їх в багатьох галузях народного господарства.

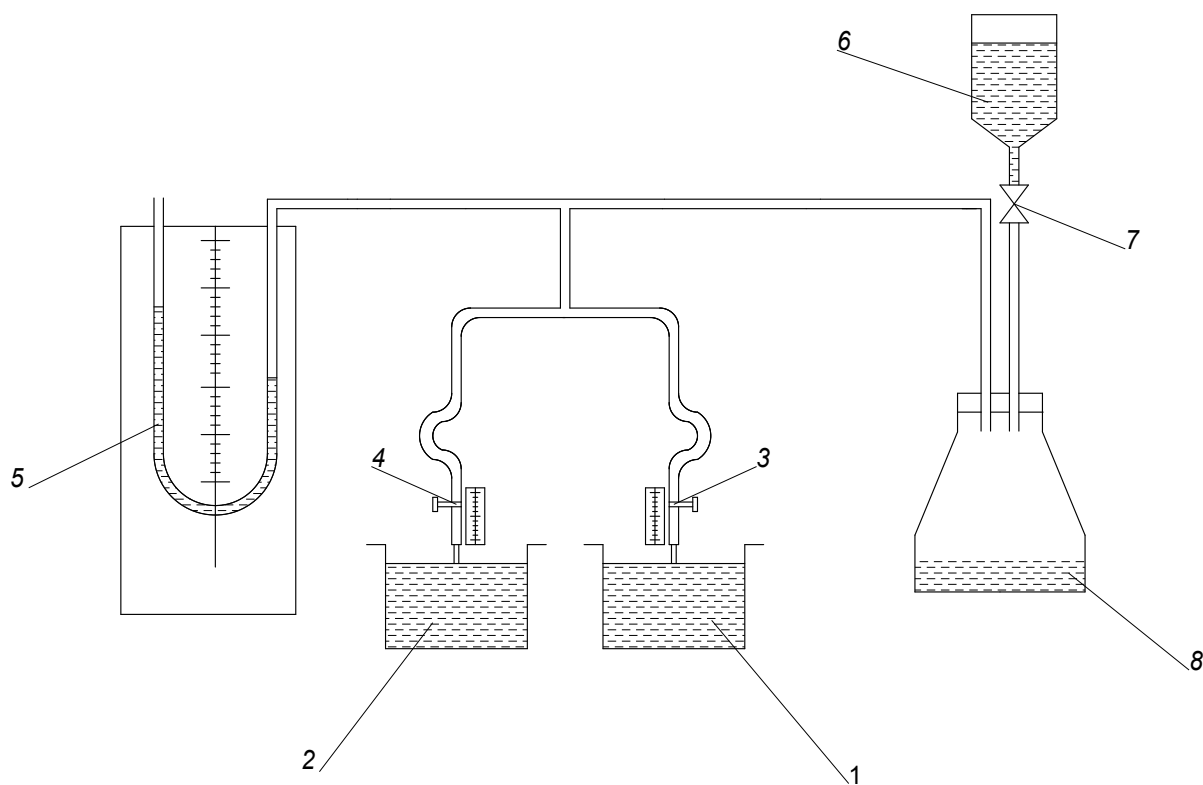
Найбільший ефект від використання ПАР у будь-якому технологічному процесі досягається при дотримуванні оптимальної концентрації ПАР у розчині.

Як правило, такою оптимальною концентрацією є точка критичної концентрації міцелотворення, при якій спостерігається мінімальне значення поверхневого натягу розчину на межі з повітрям.

Подальша добавка ПАР в розчин фактично не поліпшує його якісні характеристики, а іноді веде до погіршення основних показників процесу і до перевитрати ПАР.

Визначити цю концентрацію можна шляхом дослідження залежності поверхневого натягу розчину від часу існування поверхні розділу фаз, тобто знаходження динамічного поверхневого натягу. Чим більшою поверхневою активністю характеризується ПАР, тим швидше і при менших її концентраціях в розчинах досягається рівноважний поверхневий натяг і тим ефективніший її вплив на технологічний процес.

Існує чисельна група методів визначення поверхневого натягу рідин на межі розділу рідина-оточуючий газ:



1 – порівнювальна кюветка; 2 – досліджувана кюветка 3,4 – мікрометричні гвинти; 5 – U-подібний рідинний манометр; 6 – посудина з рідиною; 7 – кран; 8 – колба

Рисунок 1 — Принципова схема установки

статичні, тобто ті методи, в яких поверхня знаходиться в рівновазі і не рухома під час виміру.

До статичних методів належить:

- метод капілярного підняття;
- методи, які ґрунтуються на визначенні форми нерухомих крапель або пухирців;
- методи сидячої та висячої крапель і нерухомого пухирця;
- метод розгорнутого меніска;
- метод пластинки Вільгельма.
- напівстатичні, тобто ті методи, в яких використовується процес зміни параметрів поверхні, і ці параметри вимірюються для характерного моменту процесу, причому швидкість зміни поверхні можна регулювати.

До напівстатичних методів належать:

- метод максимального тиску в газовому пухирці;
- метод зважування крапель (сталагмометричний метод);
- методи, які ґрунтуються на вимірюванні максимального значення сили, прикладеної для витягування тіла з рідини.

3) динамічні, які характеризуються скінчевою, часто великою, швидкістю зміни параметрів поверхні.

До динамічних методів належать:

- метод осцилюючого струменя;
- метод капілярних хвиль на поверхні розділу фаз [2].

Сучасними методами поверхневий натяг можна визначити з точністю до 0,01 мН/м. Однак для цього необхідні достатньо складні

установки і тривалий досвід роботи [4]. Визначення поверхневого натягу розчину ПАР залежно від її вмісту і температури є важливим параметром при підборі ПАР і компонентів для використання в нафтогазовій промисловості. Існуючі прилади для визначення поверхневого натягу розчинів не дають змоги безперервно визначати зміну поверхневого натягу у двох різних посудинах під час дії на одну з них (зміна температури, добавка хімеагентів, дія електричного і магнітного полів).

Основною задачею є створення приладу на базі відомих явищ, який би реалізував цю ідею. Визначити зміну поверхневого натягу диференціальним методом дозволяє запропонована установка (рис. 1).

За основу взято один з найпростіших у використанні і найбільш поширений метод максимального тиску в газовому пухирці. Метод полягає в тому, що в досліджувану рідину через капіляр вдувається повітряний пухирець або пропускають краплі іншої рідини і вимірюється скачок тиску ΔP при відриві пухирця. Тиск повітря (ΔP), який потрібний для відриву пухирця від капіляра, є шуканою величиною, яка використовується для подальшого розрахунку коефіцієнта поверхневого натягу.

Поверхневий натяг визначається за формулою:

$$\Delta p = (\rho - \rho_{\text{нов}})gH + 2\sigma / R. \quad (1)$$

де: ρ – густина досліджуваної рідини; $\rho_{\text{нов}}$ – густина повітря; g – прискорення вільного па-

діння; H – глибина занурення капіляра в рідину; R – радіус капіляра.

З формули видно, що перший доданок визначається тиском стовпа рідини від занурення капіляра, другий – надлишковим тиском, який створює поверхневий натяг.

Установка (рис. 1) працює на відомому принципі вимірювання тиску бульбашками повітря, що витісняються в рідину з капіляра, а тиск вимірюють U-подібним рідинним манометром.

Порядок проведення досліду:

1) спочатку заливають у дві кюветки 1 і 2 розчин, зміну між величинами поверхневого натягу якого необхідно визначити (наприклад, при зміні температурного режиму в одній з них).

2) мікрометричними гвинтами 3 і 4 підводять капіляри до моменту їх дотику з поверхнями рідин.

3) записують значення висот розміщення мікрометричних гвинтів.

4) краном 7 з посудини 6 встановлюють режим витікання рідини по 1-2 краплі в секунду в посудину 8, внаслідок чого об'єм повітря в ній зменшується і зростає тиск. Через деякий час тиск зростає до величини, якої достатньо для того, щоб бульбашка газу витіснялась з капіляра в рідину.

5) записують значення тиску за показами манометра 5.

Якщо розчини одного складу в обох кюветках, то бульбашки виходять почергово, а якщо цього не відбувається, то зміною глибини занурення одного з капілярів досягають цього явища.

У випадку, коли в дослідній кюветці рідина може збільшувати величину поверхневого натягу по відношенню до порівнювальної, тоді в порівнювальну кюветку 1 опускають капіляр до рівня поверхні рідини а потім занурюють на глибину 10 мм з допомогою мікрометричного гвинта 1. Тоді необхідно врахувати тиск, який створився в бульбашці повітря в кюветці 1.

Додатковий тиск, створений поверхневим натягом рідини, визначається за формулою Лапласа

$$p = \frac{2 \cdot \sigma}{r}. \quad (2)$$

Сам тиск можна визначити U-подібним рідинним манометром

$$p = \rho \cdot g \cdot h. \quad (3)$$

Оскільки тиски рівні, то:

$$\rho \cdot g \cdot h = 2 \cdot \sigma / r; \quad (4)$$

На основі рівняння (3) складаємо вираз для тиску в порівнювальній кюветці 1

$$\frac{2\sigma}{r} = \rho_g g (h_g + \Delta h). \quad (5)$$

Тиск в досліджуваній кюветці

$$\frac{2\sigma_x}{r} = \rho_g g h_x; \quad (6)$$

Поділимо рівняння (4) на рівняння (5)

$$\frac{\sigma_g}{\sigma_x} = \frac{(h_g + \Delta h)}{h_x}; \quad (7)$$

Величина поверхневого натягу досліджуваної рідини при зміні температурного режиму визначається за формулою:

$$\sigma_x = \frac{\sigma_g h_x}{(h_g + \Delta h)}. \quad (8)$$

де: σ_g – поверхневий натяг води при температурі 20°C, Н/м; Δh – висота занурення капіляра в порівнювальну кюветку, $\Delta h = 10$ мм; h_g – різниця рівнів рідини в U-подібному рідинному манометрі до зміни температурного режиму в кюветках; h_x – різниця рівнів рідини в U-подібному рідинному манометрі після зміни температурного режиму в кюветці;

За допомогою запропонованого приладу можна прослідкувати зміну поверхневого натягу різних поверхнево-активних речовин при дії температурного, акустичного, магнітного та електричного факторів, що дає можливість підібрати оптимальні параметри впливу розчинами ПАР, температурою та фізичними полями на нафтоносні і газоносні пласти.

Література

1 Кісіль І.С. Визначення поверхневого натягу рідин на основі вимірювання максимального тиску в газовому меніску // Методи та прилади контролю якості. – 1997. – №1. – С. 50-55.

2 Горелов В.О. Спосіб визначення поверхневого натягу рідин на межі розділу рідина – повітря // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах: Зб. наукових праць. – 2002. – №8. – Т. 1. – С. 117-119.

3 Білий О.В. Фізична хімія. – К.: ЦУЛ, Фітосоціоцентр, 2002. – 364 с.

4 Кисиль І.С., Малько А.Г., Дранчук М.М. О точности измерения поверхностного натяжения по методу максимального давления в газовом пузырьке. // Журнал физической химии. – 1981. – Т.55. – №2. – С.318-326.