

УДК 532.61

УДОСКОНАЛЕНИЙ ПРИСТРІЙ ДЛЯ УТВОРЕННЯ ФІКСОВАНОЇ ОБЕРТОВОЇ КРАПЛІ ПРИ ВИМІРЮВАННІ МІЖФАЗНОГО НАТЯГУ РІДИН

В. Б. Біліщук, І. С. Кісіль

*Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу,
вул. Карпатська, 15, м. Івано-Франківськ, 76019, e-mail: zarichna@nung.edu.ua*

Здійснено аналіз процесу утворення фіксованої обертової краплі на вертикальній поверхні пробки при вимірюванні міжфазного натягу рідин з використанням методики фіксованої обертової краплі. Оцінено максимальне значення шорсткості поверхні пробки, на якій відбувається фіксування краплі. Приведено будову пристрою для утворення фіксованої обертової краплі.

Ключові слова: міжфазний натяг, вимірювання, поверхнево-активна речовина, обертова крапля, трубка.

Осуществлен анализ процесса образования фиксированной вращающейся капли на вертикальной поверхности пробки при измерении межфазного натяжения жидкостей с использованием методики фиксированной вращающейся капли. Оценено максимальное значение шероховатости поверхности пробки, на которой происходит фиксирование капли. Приведено строение устройства для образования фиксированной вращающейся капли.

Ключевые слова: межфазное натяжение, измерение, поверхностно-активное вещество, вращающаяся капля, трубка.

The analysis of process formation the fixed rotating drop on the vertical surface of cork at measuring interfacial tension of surfactants by method of the fixed rotating drop is considered. The maximal value of roughness of surface cork which settled of drop is appraised. The construction of device for formation of the fixed rotating drop is resulted.

Keywords: interfacial tension, measuring, surfactant, rotating drop, tube.

З метою оцінювання якості розчинів різних поверхнево-активних речовин (ПАР) визначають зміну міжфазного натягу в часі (динамічний міжфазний натяг) на межі розділу фаз між розчином ПАР певної концентрації і досліджуваною рідиною. Для вимірювання міжфазного натягу двох рідин використовують метод обертової краплі. В [1, 2] пропонують використовувати методику фіксованої обертової краплі, в якій крапля, що обертається, одним кінцем зафіксована на вертикальній твердій поверхні пробки всередині трубки з важчою рідиною. При цьому краплю рідини пропонується витискати через отвір в пробці за допомогою шприца з голкою [2] або з додаткової камери в трубці [3]. Залежно від концентрації ПАР у розчині встановлення рівноважного міжфазного натягу на межі розділу фаз відбувається за 3–20 с. Отже, при дослідженні динамічного міжфазного натягу потрібно використовувати пристрій, який дозволить сформувати фіксовану обертову краплю за декілька секунд. На процес утворення фіксованої обертової краплі впливають змочування обертовою краплею матеріалу пробки, шорсткість поверхні пробки, що на

даний момент часу детально не проаналізовано [4,5].

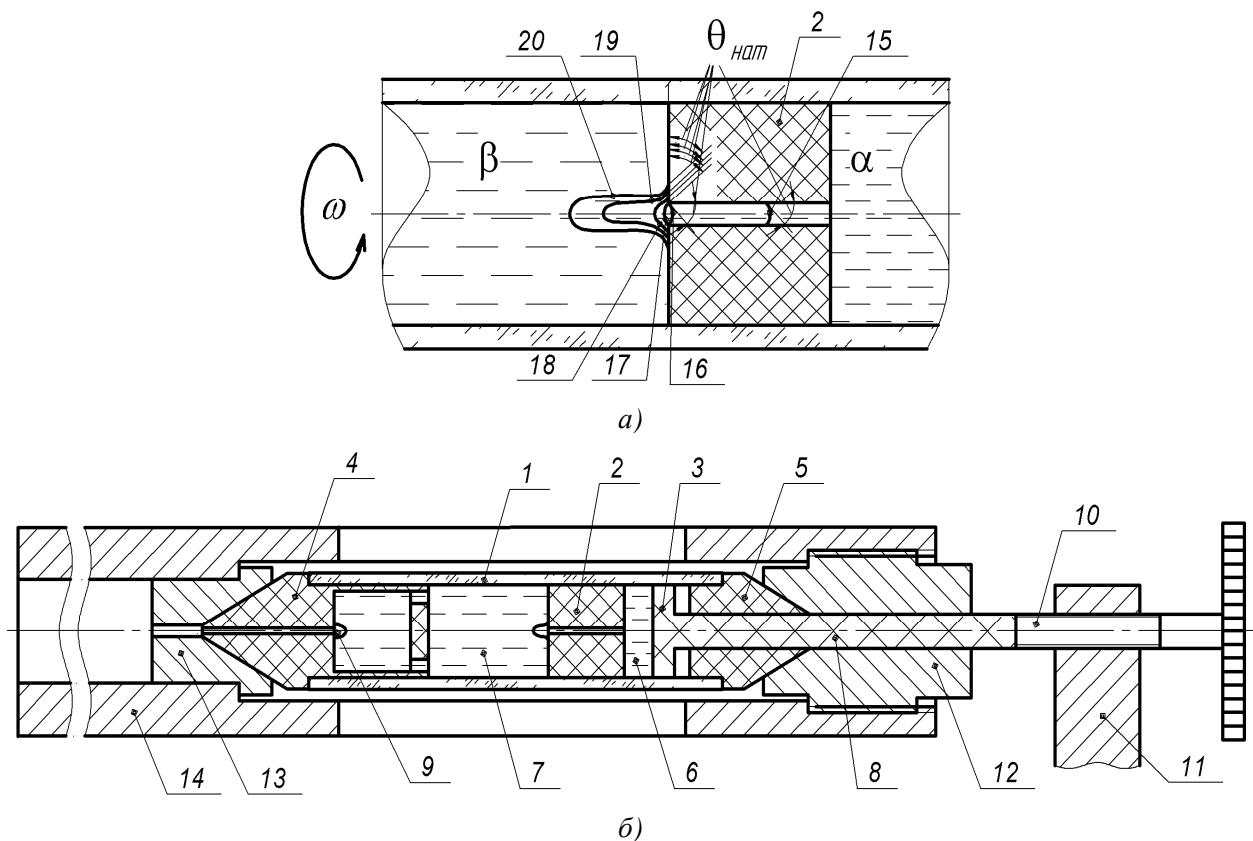
Розглянемо процес утворення краплі легшої рідини α на вертикальній поверхні пробки в процесі обертання скляної трубки з рідинами (рис. 1, а). У пол. 15 поверхня контакту фаз рідин знаходиться в отворі пробки 2. При витисканні легшої рідини α через отвір пробки в більш важчу рідину відбувається рух лінії трифазного контакту із збереженням постійного кута натікання $\theta_{\text{нат}} < 90^\circ$, який утворюється між границею розділу фаз двох рідин і горизонтальною стінкою отвору в пробці. В пол. 16 лінія трифазного контакту буде знаходитись на краю отвору пробки. При подальшому надходженні легшої рідини через отвір пробки поверхня розділу фаз буде вигинатись з пол. 16 у пол. 17. Край отвору не є ідеально прямокутним і має скруглення невеликого радіусу. Тому лінія трифазного контакту буде рухатись по скругленій поверхні, виходячи на вертикальну поверхню пробки 2. З пол. 16 починається формування краплі легшої рідини на вертикальній поверхні пробки. При подальшому витисканні відбуватиметься

збільшення об'єму краплі легшої рідини, остання буде розтікатись по поверхні пробки з утворення кута натікання (пол. 18, 19). Процес натікання краплі на тверду поверхню при збільшенні її об'єму відбувається до певного положення лінії трифазного контакту (пол. 20). При подальшому збільшенні об'єму краплі вона буде тільки витягуватись вздовж осі обертання, а розтікання краплі по поверхні пробки 2 припиниться тому, що з боку важчої рідини в напрямку до осі обертання діє сила витіснення, яка виникає в результаті дії відцентрових сил [6].

Легша рідина, яку використовують при вимірюванні міжфазного натягу даною методикою, повинна змочувати матеріал, з якого виготовлено пробку. В іншому випадку крапля не буде розтікатись по поверхні пробки і, відповідно, не буде фіксуватись на стінці пробки, а відірветься від неї.

Так як фіксування краплі відбувається на

поверхні пробки, то необхідно зробити правильний вибір матеріалу, з якого буде виготовлена пробка. Різні тверді матеріали мають різну ступінь взаємодії з рідинами. Кількісним показником цієї взаємодії є крайовий кут змочування θ_0 . З іншого боку вплив на вибір матеріалу має його хімічна інертність відносно досліджуваних рідин. Передбачається, що запропонований пристрій буде використовуватись для дослідження ПАР, які використовують у нафтовидобутку. В [7] пропонується виготовлювати пробки з фторопласту тому, що фторопласт не взаємодіє з досліджуваними нафтопродуктами і є достатньо пружним для герметичного закриття трубки з рідинами. В літературних джерелах [4,8] не приведені значення крайових кутів в системі фаз нафтопродукт—вода—фторопласт. Тому визначення крайових кутів змочування на вказаній межі розділу фаз було нами здійснено експериментально.



1 - скляна трубка; 2 - пробка з отвором; 3 - поршень; 4 - конусоподібна пробка з порожниною; 5 - конусоподібна пробка; 6 - камера з легкою рідиною α ; 7 - камера з важчою рідиною β ; 8 - шток; 9 - пухирець повітря; 10 - гвинт; 11 - опора гвинта; 12 - гвинт затискаючий; 13 - втулка; 14 - патрон; 15–20 – етапи формування фіксованої обертової краплі

Рисунок 1 – Процес утворення фіксованої обертової краплі на стінці пробки (а) і пристрій (б) для утворення фіксованої краплі легкої рідини на вертикальній стінці пробки

Для дослідження використовували дистильовану воду, гас, нафту і підкладку, виготовлену з фторопласту. В усіх зроблених дослідах краплі нафти і гасу розтікались в тонку плівку по поверхні підкладки, що свідчить про змочування цими нафтопродуктами фторопласту. Значення крайового кута змочування в дослідах не перевищувало 10° .

На процес розтікання крапель по поверхні твердих тіл має вплив шорсткість цієї поверхні. Видимий кут змочування, який вимірюють в такому випадку, називається макрокрайовим θ_{III} . Співвідношення між макрокрайовим θ_{III} і крайовим θ_0 кутами змочування наступне [4,5]:

$$\cos \theta_{III} = K \cos \theta_0, \quad (1)$$

де K — відношення фактичної площі поверхні твердого тіла до проекції на відповідну площину.

Нехай нерівності поверхні твердого тіла мають трикутну форму в поперечному січенні з відстанню між вершинами рівною $2a$ і глибиною R_{max} . Тоді K пропонується визначати так:

$$K = \frac{\sqrt{a^2 + R_{max}^2}}{a}. \quad (2)$$

Якщо глибини всіх западин нерівностей твердої поверхні приблизно однакові, то величина R_{max} буде приблизно рівною параметру шорсткості R_z .

Шорсткість поверхні повинна бути такою, щоб не призводила до суттєвої зміни видимого крайового кута. З використанням відеотехніки визначення крайового кута можливе з точністю, не гіршою $1,5^\circ$ [10]. Тоді різниця між макрокрайовим θ_{III} і крайовим θ_0 кутами через шорсткість поверхні не повинна перевищувати 1° . При отриманих у дослідах значеннях крайового кута з (1) знаходимо, що максимальне значення $K=1,003$. При шліфуванні поверхонь різними методами середнє значення відстані між вершинами нерівностей дорівнює $2a=10$ мкм [9]. Тоді з (2) отримуємо, що висота западин не повинна перевищувати $R_{max}=R_z=7$ мкм, що приблизно відповідає шорсткості поверхні $Ra=1,75$ мкм. Така шорсткість поверхні досягається відповідною механічною обробкою: тонким торцевим точінням, чистовим шліфуванням або різними типами притирання. Тонким торцевим точінням досягається шорсткість поверхні Ra від 1,25 до 0,32 мкм, чистовим шліфуванням від 0,63 до 0,32 мкм, притиранням від 0,63 до 0,04 мкм [9].

Для утворення фіксованої обертової краплі на поверхні пробки в процесі обертання трубки з рідинами пропонується використовувати пристрій, будова якого показана на рис. 1, б. Пристрій складається з скляної трубки 1, всередині якої встановлено пробку 2 з отвором. З одного боку в трубку встановлено поршень 3 і конусоподібну пробку 5. З іншого боку трубка 1 закрита пробкою 4. Пробка 4 всередині має порожнину і отвори справа, через які в порожнину може поступати важча рідина з камери 7. В пробці 4 також є отвір зліва, який призначений для відводу надлишку важчої рідини з камери 7. Для приведення в рух поршня 3 через шток 8 використовують гвинт 10, який за допомогою різьби закручується в опору 11. Центрування і закріплення трубки 1 в патроні 14 здійснюється за допомогою гвинта 12 і втулки 13. Патрон 14 закріплюють на валу двигуна приладу, який на рис. 1 не показаний.

Принцип заповнення пристрою з метою утворення фіксованої краплі легшої рідини полягає в наступному. Заповнюють камеру 6 легшою рідиною α , за допомогою поршня 3 з камери 6 через отвір в пробці 2 витискають повітря доти, доки легша рідина заповнить канал отвору в пробці 2. Після цього заповнюють камеру 7 важчою рідиною β . Встановлюють пробку 4 в трубку 1 таким чином, щоб витиснути повітря з камери 7 через отвори в пробці 4. При цьому наявність пухирців повітря в порожнині пробки 4 є допустимою. З іншої сторони скляну трубку 1 закривають пробкою 5, встановлюють заповнену трубку з рідинами у патрон 14, який закріплений на валу двигуна приладу і який в подальшому буде обертати трубку із рідинами.

Приводять пристрій в обертання. Після встановлення гіростатичної рівноваги в процесі обертання важчої і легшої рідин з трубкою за допомогою поршня 3 витискають краплю легшої рідини в камеру 7 через отвір у пробці 2. Витіснена з камери 7 важча рідина через праві отвори в пробці 4 потрапляє в її порожнину і виходить назовні пристрою через лівий отвір у пробці 4. Так як важча і легша рідини під час витискання легшої рідини з камери 6 за допомогою поршня 3 знаходяться в гіростатичній рівновазі, то початок вимірювання зміни міжфазного натягу в часі можливий відразу після утворення краплі легшої рідини на стінці пробки 2. Під час обертання пристрою через лівий отвір в пробці 4 важча рідина буде виходити назовні. Замість рідини, яка вийшла назовні, всередину порожнини пробки 4 буде втягуватись повітря, утворюючи пухирець 9. Цей процес буде відбуватись доти, доки

пухирець повітря 9 збільшиться в розмірах настільки, що перекриє собою лівий отвір в пробці 4 і витікання важчої рідини через нього припиниться.

ВИСНОВКИ

Пристрій, будова і принцип роботи якого приведені у статті, дозволить досліджувати динамічний міжфазний натяг з меншою затримкою в часі на процес утворення обертової фіксованої краплі, так як утворення краплі легшої рідини на стінці пробки відбувається після досягнення гіростатичної рівноваги на межі розділу рідин у трубці. Розглянутий процес утворення фіксованої краплі легшої рідини дозволяє стверджувати, що легша рідина повинна змочувати матеріал пробки, на якій формується крапля, а шорсткість поверхні пробки повинна бути меншою 1,75 мкм.

1. Пат. 39871 Україна. МПК G 01 N 13/00. Спосіб визначення міжфазного натягу рідин методом обертової краплі [Текст] / І. С. Кісіль, В. Б. Білицук, Р. Т. Боднар; заявник і власник Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу. — № а 2008 00269; заявл. 19.11.2008; опубл. 10.03.2009, Бюл. №5. — 3с. 2. Проблеми корозійно-механічного руйнування, інженерія поверхні, діагностичні системи [Текст]: зб. тез доповідей Відкритої науково-технічної конференції молодих науковців і спеціалістів, [Львів], 29–30 жовтня 2009р., — Львів.: "Неофіта І. М.", 2009. — 298с.

3. Приладобудування 2009: стан і перспективи [Текст]: зб. тез доповідей VIII міжнародної науково-технічної конференції, [Київ], 10–12 квітня 2009р., — К.: "Політехніка", 2008. — 292с. 4. Сумм Б. Д. Физико-химические основы смачивания и растекания [Текст] / Б. Д. Сумм, Ю. В. Горюнов. — М., "Химия", 1976. — 232 с. 5. Зимон А. Д. Адгезия жидкости и смачивание [Текст] / А. Д. Зимон. — М., "Химия", 1974 — 416 с. 6. Русанов А. И. Межфазная тензиометрия [Текст] / А. И. Русанов, В. А. Прохоров — СПб: Химия, 1994. — 400с. 7. Кісіль Р. І. Контроль міжфазного натягу рідин методом обертової краплі [Текст]: дис. на здобуття наук. ступ. канд. техн. наук. 05.11.13 / Кісіль Р. І. — Івано-Франківськ, 2001. — 184 с. 8. Адамсон А. Физическая химия поверхностей [Текст] / А. Адамсон. — М. "Мир", 1979. — 568с. 9. Ануриев В. И. Справочник конструктора-машиностроителя: В 3 т. [Текст] Т. 1. Под. ред. И. Н. Жестковой. — М.: Машиностроение, 2001. — 920 с. 10. Боднар Р.Т. Метод оперативного визначення крайового кута змочування [Текст] / Р. Т. Боднар, М.М. Дранчук, В.Б. Білицук, Б.В. Костів // Науковий вісник Національного технічного університету нафти і газу, — 2005.—№3(12). — С.154-161.

Поступила в редакцію 25.06.2010 р.

Рекомендував до друку докт. техн. наук,
проф. Копей Б.В.