

ВПЛИВ КАПІЛЯРНИХ КОЛИВАНЬ ЛЕЖАЧОЇ КРАПЛІ ПРИ ВИМІРЮВАННІ ПОВЕРХНЕВОГО НАТЯГУ

Вінницький національний технічний університет

Анотація

Досліджено вплив капілярних коливань та тривалість переходу краплі в стаціонарний стан при вимірюванні поверхневого натягу вдосконаленим методом лежачої краплі з використанням покроково зростаючої напруги електричного поля.

Ключові слова: поверхневий натяг, метод лежачої краплі в електричному полі, стійкість краплі, капілярні коливання.

Abstract

The influence of capillary fluctuations and the transition duration drop in a stationary state in the measurement of surface tension which improved method of laying drop with the using incremental increasing voltages of the electric field has been researched.

Keywords: surface tension, the method of laying a drop in the electric field, resistance drops, capillary fluctuations.

Вступ

Фундаментальною властивістю межі поділу рідина – газ є поверхневий натяг (ПН), який визначає питому вільну поверхневу енергію рідини і є тим параметром, значення якого в багатьох випадках є визначальним для оцінки якісних та кількісних параметрів рідини [1].

Метою роботи є дослідження впливу капілярних коливань та тривалість переходу краплі в стаціонарний стан при вимірюванні поверхневого натягу методом лежачої краплі.

Результати дослідження

В роботі для вимірювання ПН рідин пропонується використовувати безконтактний метод лежачої краплі, а для підвищення чутливості пропонується застосувати вплив електричного поля, в результаті впливу якого енергія меніска змінюється і лежача крапля деформується, перетворюючись із сферичної у витягнуту сфероїдальну.

При рості напруженості зовнішнього електричного поля відбувається локальне підсилення напруженості електричного поля у вершині сфероїдальної краплі, яке визначається діелектричною проникністю рідини, поверхневим натягом, розміром краплі та напруженістю зовнішнього поля. При рості напруженості зовнішнього електричного відбувається локальне підсилення напруженості електричного поля у вершині сфероїдальної краплі, яке визначається діелектричною проникністю рідини, поверхневим натягом, розміром краплі та напруженістю зовнішнього поля. Підсилення напруженості електричного поля біля вершини краплі призводить до її розриву або різкого зменшення кривизни. Екстремальні геометричні параметри відповідають моменту, що передуює настанню нестійкого стану. Крапля рідини в електричному полі стає нестійкою через домінування електричних сил над силами поверхневого натягу. Дослідження нестійкості краплі проводиться на основі модового підходу, згідно якого нескінченний набір капілярних хвиль нескінченно малої амплітуди (які завжди існують через тепловий рух молекул) розглядається як коливальна система з нескінченним числом степеней свободи. Амплітуда m -ої моди капілярних коливань меніска змінюється з часом за законом [2]

$$A_k(t) = A_{k0} \cdot \exp(-t \cdot \omega_m - x_m \cdot t), \quad (1)$$

де A_{k0} – максимальне значення амплітуди коливання в початковий момент часу; m – номер моди; ω_m – частота коливання; x_m – декремент в'язкого затухання.

Частоти різних мод капілярних коливань зарядженої поверхні визначається формулою

$$\omega_m^2 = (m-1) \cdot m \cdot (m+2) \cdot \frac{\sigma \cdot (1-W)}{\rho \cdot a^3}, \quad (2)$$

де ρ – густина рідини; W – параметр Релея, що відповідно до [3]

$$W = \frac{\varepsilon_0 \cdot \varepsilon_c \cdot U^2}{16 \cdot \sigma \cdot a}, \quad (3)$$

де ε_c – діелектрична проникність навколишнього середовища; U – напруга, що подається на електроди.

Декремент в'язкого затухання капілярних хвиль

$$x_m = (m-1) \cdot (2m+1) \cdot \frac{V}{a^2}, \quad (4)$$

де V – кінематична в'язкість.

Найменша з можливих мод має найменшу частоту коливання і, відповідно, найбільший період. Більш високі моди капілярних коливань встигають розвинути на фоні одного коливання найменшої з можливих – основної моди, тому саме період основної моди необхідно прийняти за характерний час капілярних коливань меніска. Чим вища мода капілярних коливань, тим швидше вона затухає [4]. Отже, повільніше всього затухає мінімальна з можливих мод капілярних коливань: за час зменшення її амплітуди в e раз, амплітуди більш високих мод зменшаться в значно більшому ступені. Саме тому в якості характерного часу в'язкого затухання капілярних коливань меніска рідини необхідно вибрати час в'язкого затухання основної – другої моди.

Висновки

За результатами проведених досліджень можна зробити такі висновки:

– досліджено нестійкість краплі на основі модового підходу, що дозволило оцінити тривалість затухання капілярних коливань на поверхні меніска, синхронізувати швидкість встановлення стаціонарного стану краплі при зміні напруги на один крок з частотою реєстрації зображення лежачої краплі та скоротити тривалість вимірювання поверхневого натягу.

– оцінено, що тривалість переходу краплі в стаціонарний стан при зростанні напруги на один крок не перевищує 1,3 с. Для зменшення тривалості вимірювального перетворення паралельно переходу краплі в стаціонарний стан та зняттю зображення фотокамерою здійснюють попереднє оброблення зображення краплі ЕОМ.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Городецька О.С. Автоматизований контроль поверхневого натягу рідин методом лежачої краплі: [Монографія] / О.С. Городецька, Й.Й. Білінський – Вінниця: „УНІВЕРСУМ-Вінниця”, 2008. – 146 с.
2. Григорьев А. И. Локальное увеличение напряженности однородного электростатического поля вблизи вершины сфероидальной капли / А.И. Григорьев, С.И. Щукин // Журнал технической физики, 1999. – том 69, вып. 8. – С. 49–54.
3. Щукин С. И. Исследование устойчивости капель по отношению к собственному и поляризованному зарядам: автореф. дис. на присвоен. научн. степени к-та физ.-мат. наук: спец. 01.04.14 / С. И. Щукин. – М., 1999. – 16 с.
4. Городецька О.С. Вимірювання поверхневого натягу рідин з врахуванням впливу капілярних коливань лежачої краплі / О.С. Городецька, О.В. Стальченко // Наукові праці Вінницького національного технічного університету. – 2010. – №1. – С.1-6. Режим доступу до журналу: <http://www.nbu.gov.ua/e-journals/VNTU/2010-1>.

Городецька Оксана Степанівна — канд. техн. наук, доцент кафедри телекомунікаційних систем і телебачення, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: horodecka.os@gmail.com.

Oksana S. Horodetska — Cand. Sc. (Eng), Assistant Professor of Department of Telecommunication Systems and Television, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: horodecka.os@gmail.com.