

УДК665.2/3.067.7

ВИЗНАЧЕННЯ ЕЛЕКТРОФІЗИЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ДІЕЛЕКТРИЧНИХ СУСПЕНЗІЙ

Назаренко І.П., к.т.н.,

Рубцов М.О., к.т.н.

Таврійський державний агротехнологічний університет

Тел. (0619)43-54-32

Анотація - представлені результати експериментального визначення питомої електропровідності та діелектричної проникності дисперсної фази та дисперсійного середовища діелектричних суспензій.

Ключові слова – діелектрична суспензія, електрод, частота, обертове електричне поле, електропровідність, діелектрична проникність.

Постановка проблеми. В електросепараторах діелектричних (слабопровідних) суспензій використовуються сили, які залежать від електричних властивостей як дисперсної фази так і дисперсійного середовища: питомої електропровідності та діелектричної проникності [1]. Наявність даних про ці властивості дозволяє проектувати електричні сепаратори та визначати їх ефективність. В багатьох випадках інформація про вказані властивості відсутня або недостовірна. Як дисперсна фаза, так і дисперсійне середовище можуть мати складний склад, а для багатьох рідин, особливо рослинного походження, ще й змінюватись з часом. Вимірювання електрофізичних характеристик зважених в рідині частинок за існуючими методиками ускладнюється необхідністю їх вилучення, яке приводить до зміни їх властивостей. Таким чином розробка методу та технічних засобів визначення електрофізичних властивостей дисперсійного середовища та дисперсної фази безпосередню в суспензії є актуальною задачею.

Аналіз останніх досліджень. На практиці питому електропровідність визначають як відношення величини, зворотно пропорційної опору чарунки з матеріалом до постійного для даної чарунки геометричного фактору. Постійну вимірювальну чарунку можна визначити, використовуючи розчин з відомою електропровідністю. Для виміру електропровідності використовують мости змінного струму. При таких вимірах виникають значні труднощі при виборі конструкції вимірювальної кювети, урахуванні поверхневих струмів для матеріалів з малою питомою електропровідністю. Урахування неоднорідної структури твердих матеріалів, тощо.

Для виміру діелектричної проникності на постійному струмі (статична проникність) використовують метод балістичного гальванометра. Діелектрична проникність на змінному струмі вимірюється мостовими, резонансними та оптичними методами [4].

У всіх випадках для визначення електрофізичних характеристик дисперсної фази потрібне її вилучення з дисперсійного середовища. Крім цього, при дослідженні електрофізичних властивостей в широкому діапазоні частот від 0 до 10^{13} Гц неможливо рекомендувати єдиний метод виміру, тому що для кожної ділянки діапазону існує декілька різних методів [4].

В роботі [2] показано, що в обертовому та в біжучому електричному полях на дисперсні частинки, що відрізняються від середовища за своїми електрофізичними властивостями, діє сила та момент сили, які залежать від діелектричної проникності рідини і частинки та їх питомої електропровідності. Це є основою для розробки методу визначення електрофізичних властивостей слабопровідних суспензій.

Формулювання цілей статті. Робота направлена на обґрунтування, розробку та перевірку методу визначення електрофізичних властивостей слабопровідних суспензій з використанням обертового електричного поля.

Основна частина. Для обґрунтування методу виміру електрофізичних властивостей слабопровідних суспензій проведемо аналіз математичного виразу для моменту сили в обертовому електричному полі [3]

$$M = 4\pi\epsilon_c a^3 E^2 \frac{(\epsilon_q - \epsilon_c) \left(\frac{\sigma_q}{\omega} + 2 \frac{\sigma_c}{\omega} \right) - (\epsilon_q + 2\epsilon_c) \left(\frac{\sigma_q}{\omega} - \frac{\sigma_c}{\omega} \right)}{(\epsilon_q + 2\epsilon_c)^2 + \left(\frac{\sigma_q}{\omega} + 2 \frac{\sigma_c}{\omega} \right)^2}, \quad (1)$$

де a – радіус частинки, м;

ϵ_q – діелектрична проникність частинки, Ф/м;

ϵ_c – діелектрична проникність середовища, Ф/м;

σ_q – питома електропровідність частинки, См/м;

σ_c – питома електропровідність середовища, См/м;

E – напруженість електричного поля, В/м;

ω – кутова частота, рад/с.

Якщо відомі діелектрична проникність ϵ_c та питома електропровідність σ_c середовища, радіус частинки a та напруженість електричного поля E , то для визначення невідомих величин ϵ_q та σ_q , що входять у формулу (1), потрібно мати два рівняння.

Дослідимо функцію (1) на екстремум.

$$\frac{dM}{d\omega} = \frac{12\pi\epsilon_c a^3 E^2 (\sigma_q \epsilon_c - \sigma_c \epsilon_q) \left((\epsilon_q + 2\epsilon_c)^2 + \frac{1}{\omega^2} (\sigma_q + 2\sigma_c)^2 \right)}{\left[(\epsilon_q + 2\epsilon_c)^2 + \left(\frac{\sigma_q}{\omega} + 2\frac{\sigma_c}{\omega} \right)^2 \right]^2}. \quad (2)$$

В екстремальній точці:

$$\frac{dM}{d\omega} = 0 \Rightarrow \text{оскільки } \sigma_q \epsilon_c - \sigma_c \epsilon_q \neq 0, \text{ то } (\epsilon_q + 2\epsilon_c)^2 = \frac{1}{\omega^2} (\sigma_q + 2\sigma_c)^2.$$

Тому

$$\omega = \frac{\sigma_q + 2\sigma_c}{\epsilon_q + 2\epsilon_c}. \quad (3)$$

Для визначення діелектричної проникності ϵ_q та питомої електропровідності σ_q частинки складемо систему рівнянь:

$$\begin{cases} \epsilon_q = \frac{\sigma_q}{\omega_g} + \frac{2\sigma_c}{\omega_g} - 2\epsilon_c, \\ M_g = \frac{12\pi\epsilon_c a^3 E^2 (\sigma_c \epsilon_q - \sigma_q \epsilon_c)}{\omega_g (\epsilon_q + 2\epsilon_c)^2 + \frac{1}{\omega_g} (\sigma_q + 2\sigma_c)^2}. \end{cases} \quad (4)$$

Розв'язок системи (4) запишемо у вигляді:

$$\begin{cases} \sigma_q = \frac{6\pi\epsilon_c a^3 E^2 (\sigma_c - \epsilon_c \omega)}{M_g} - 2\sigma_c, \\ \epsilon_q = \frac{6\pi\epsilon_c a^3 E^2 (\sigma_c - \epsilon_c \omega)}{M_g \omega_g} - 2\epsilon_c. \end{cases} \quad (5)$$

де ω_g – виміряна кутова частота в екстремальній точці, рад/с;

M_g – вимірний момент в екстремальній точці, Н·м.

Для визначення електрофізичних властивостей середовища можна використати метод, в якому у середовище, що досліджується вноситься пробна куля, виготовлена з матеріалу, властивості якого відомі. Визначимо розрахункові формули для цього випадку. Для розрахунку двох невідомих параметрів формули (1): ϵ_c та σ_c потрібно скласти 2 рівняння. В якості таких використовуємо формули (1) та (2), в яких момент M_g та частота ω_g відповідають критичній точці і визначаються експериментально. Відомим повинен бути також і добуток $k = 4\pi a^3 E^2$.

$$\begin{cases} \sigma_c = \frac{\omega_\theta \varepsilon_\theta}{2} - \frac{\sigma_\theta}{2} + \omega_\theta \varepsilon_c, \\ M_\theta = k \frac{3\varepsilon_c (\sigma_c \varepsilon_\theta - \varepsilon_c \sigma_\theta)}{\omega_\theta (\varepsilon_\theta + 2\varepsilon_c)^2 + \frac{1}{\omega_\theta} (\sigma_\theta + 2\sigma_c)^2}. \end{cases} \quad (6)$$

Розв'язок цієї системи:

$$\begin{cases} \varepsilon_c = \frac{-B \pm \sqrt{B^2 - 4AC}}{2A}, \\ \sigma_c = \frac{\omega_\theta (-B \pm \sqrt{B^2 - 4AC})}{2A} + \frac{\omega_\theta \varepsilon_\theta}{2} - \frac{\sigma_\theta}{2}, \end{cases} \quad (7)$$

$$\begin{aligned} \text{де } A &= 16M_\theta \omega_\theta - 6k\varepsilon_\theta \omega_\theta + 6k\sigma_\theta; \\ B &= 16M_\theta \varepsilon_\theta \omega_\theta - 3k\varepsilon_\theta^2 \omega_\theta + 3k\varepsilon_\theta \sigma_\theta; \\ C &= 4M_\theta \varepsilon_\theta^2 \omega_\theta. \end{aligned}$$

Методика виміру електрофізичних властивостей слабопровідних суспензій полягає у наступному. Обертове електричне поле створюється системою електродів у вигляді гіперболічного циліндру. В середовище, що знаходиться в міжелектродному просторі, поміщується дослідний зразок речовини дисперсної фази. Дослідний зразок закріплюється на тонкій діелектричній спиці, яка передає обертний момент на торсійний динамометр. На електроди подається напруга від трифазного високовольтного широкосмугового регульованого джерела живлення [2]. Змінюючи частоту електричного поля і підтримуючи напругу на електродах постійною, знаходять частоту, що відповідає максимальному моменту та вимірюють значення цього моменту торсійним динамометром. Для визначення коефіцієнта k розраховують середнє електричне поле в центрі камери [3] та вимірюють радіус дослідного зразка речовини. Розрахунок питомої електричної електропровідності та діелектричної проникності речовини кулі здійснюється за формулою (5), а середовища – за формулою (7).

Перевірка розробленої методики здійснювалась для олеїнової кислоти, яка має діелектричну проникність $2,15 \cdot 10^{-11}$ Ф/м і питому електропровідність 10^{-8} См/м. В якості дисперсної фази використовувався текстоліт, який має діелектричну проникність $7 \cdot 10^{-11}$ Ф/м і питому електропровідність 10^{-7} См/м. Текстолітова куля мала радіус 5мм, середня напруженість електричного поля склала $6 \cdot 10^5$ В/м.

Виміряне значення критичної частоти склало 1000 рад/с і відповідного моменту – $1,9 \cdot 10^{-6}$ Н·м.

Розрахунок за формулою (5) дає значення діелектричної проникності речовини кулі – $6,4 \cdot 10^{-11}$ Ф/м, питомої електропровідності – $1,07 \cdot 10^{-7}$ См/м.

Розрахунок за формулою (7) дає значення діелектричної проникності речовини середовища – $2,1 \cdot 10^{-11}$ Ф/м, питомої електропровідності – $9,2 \cdot 10^{-9}$ См/м.

Висновки. Розроблена методика дозволяє вимірювати електрофізичні характеристики діелектричних суспензій: питому електропровідність та діелектричну проникність дисперсної фази та дисперсійного середовища. Відносна похибка виміряного значення цих показників не перевищує 10%.

Література

1. Назаренко І.П. Сепарація діелектричних суспензій в біжучому електричному полі / І.П. Назаренко // Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України / Редкол.: Д.О. Мельничук (відп. ред.) та ін. – К.: НУБП, 2010. – Вип.148. – С. 117–122.

2. Назаренко І.П. Обґрунтування частоти біжучого електричного поля в пристроях очистки діелектричних рідин / І.П. Назаренко // Праці Таврійського державного агротехнічного університету / відп. за вип. Ф. Ю. Ялпачик. – Мелітополь: ТДАТУ, 2010. – Вип. 10, т. 3. – С. 171–175.

3. Назаренко І.П. Моделювання електричного поля, що обертається в електросепараторах діелектричних суспензій / І.П. Назаренко // Праці Таврійського державного агротехнологічного університету / Відп. за вип. В. А. Дідур. – Мелітополь: ТДАТУ, 2010. – Вип. 10, Т.8. – С. 338–345.

4. Рогов И.А. Электрофизические методы обработки пищевых продуктов / И.А. Рогов. – М.: Агропромиздат, 1988. –272с.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СУСПЕНЗИЙ

Назаренко И.П., Рубцов Н.А.

Аннотация

Представлены результаты экспериментального определения удельной электропроводимости и диэлектрической проницаемости дисперсной фазы и дисперсионной среды диэлектрических суспензий.

DETERMINATION OF ELECTRIC PROPERTIES OF DIELECTRIC SUSPENSION

I. Nazarenko, M. Rubtsov

Summary

The results of experimental determination of specific conductivity and dielectric permeability of dispersion phase and dispersion environment of dielectric suspension are given in work.