

МОДЕЛЮВАННЯ БІЖУЧОГО ЕЛЕКТРИЧНОГО ПОЛЯ В ЕЛЕКТРОСЕПАРАТОРАХ ДІЕЛЕКТРИЧНИХ СУСПЕНЗІЙ

Назаренко І. П.

Таврійський державний агротехнологічний університет

В роботі надані результати математичного моделювання біжучого електричного поля в електросепараторах діелектричних суспензій. Здійснена візуалізація трифазного біжучого електричного поля в однорядній та двохраній системі електродів.

Постановка проблеми. В діелектричних електросепараторах суспензій, що слабо проводять електричний струм використовують постійне електричне поле високої напруги, або поле промислової частоти. Принцип роботи таких сепараторів базується на різниці в діелектричній проникності дисперсійного середовища та дисперсної фази. Використання в діелектричних електросепараторах біжучого електричного поля дозволяє суттєво розширити можливості цих пристроїв.

Біжуче електричне поле створюється за допомогою системи електродів розташованих певним чином, наприклад, рядом циліндричних електродів, на які подається багатозафазна напруга. В такій системі електродів електричне поле має досить складну конфігурацію, яка до того ж змінюється з часом. Величина і топологія електричного поля суттєво впливають на динаміку зваженої частинки та траєкторію її руху. Тому для проектування електросепараторів з біжучим електричним полем потрібно розраховувати параметри електричного поля в міжелектродному просторі.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Електричне поле великої напруженості використовується для очистки рослинних олій, біопалив, технічних масел та інших слабопровідних рідин. В основу роботи апаратів електроочистки слабопровідних рідин покладено принцип розділення зважених частинок домішок під дією неоднорідного електричного поля високої напруги [1]. У роботі [2] показано, що ефективна очистка рідин може бути отримана завдяки організації в робочій зоні електросепаратора біжучого електричного поля. Таке поле створюється завдяки подачі на електроди електросепаратора змінної багатозафазної напруги певної частоти. Потрібна частота однозначно зумовлюється електричними властивостями як самої рідини, так і зважених частинок.

В роботі [2] викладені результати теоретичних і експериментальних досліджень процесу розділення суспензій в біжучому електричному полі на прикладі соняшникової олії з домішками шроту. Авторами показано, що застосування двох біжучих в протилежних напрямках електричних полів дозволяє розділяти суспензії з різними електрофізичними характеристиками зважених частинок. В роботі [3] показано, що для розрахунку складних електричних полів, наприклад, поля, що обертається, доцільно використовувати методи теорії функції комплексної змінної.

Мета статті. Робота направлена на розробку математичної моделі електричного поля для обґрунтування та розрахунку параметрів електросепараторів з біжучим електричним полем.

Основні матеріали дослідження. Рух діелектричної частинки в неоднорідному електричному полі зумовлюється силою, яка розраховується за формулою:

$$\vec{F} = 4\pi R^3 \varepsilon_2 \frac{(\varepsilon_1 - \varepsilon_2) + j \left(\frac{\sigma_1}{2\pi f} - \frac{\sigma_2}{2\pi f} \right)}{\varepsilon_1 + 2\varepsilon_2 + j \left(\frac{\sigma_1}{2\pi f} - 2 \frac{\sigma_2}{2\pi f} \right)} \text{grad} \vec{E}^2, \quad (1)$$

де R – радіус частинки, м;

ε_1 – діелектрична проникність частинки, Ф/м;

ε_2 – діелектрична проникність середовища, Ф/м;

σ_1 – питома електропровідність частинки, Ом·м;

σ_2 – питома електропровідність середовища, Ом·м;

\vec{E} – напруженість електричного поля, В/м.

f – частота, Гц.

Дійсна частина виразу (1) зумовлює силу, що діє на частинку в неоднорідному електричному полі, а уявна – силу, що діє в біжучому полі.

З аналізу формули (1) зрозуміло наскільки важливо розрахувати конфігурацію поля.

Розрахунок поля будемо вести для системи циліндричних електродів, яка показана на рис. 1.

Розрахунок будь якого плоского поля зводиться до рішення двомірного рівняння Лапласа при заданих граничних умовах, тобто знаходженню потенціалу $\varphi(x, y)$. Задачу Діріхле будемо вирішувати за допомогою методів теорії функції комплексної змінної, тому що поле, при довжині електродів багато більшої за відстань між ними, можна розглядати як таке, що залежить тільки від двох координат. Області, які показані на рис. 1 є багатозв'язними, але їх можливо представити як однозв'язні з розрізами. Для рис. 1а це буде площа, що обмежена розрізами вздовж променів паралельних прямих. Для рис. 1б – площа з розрізами вздовж паралельних променів направлених в різні сторони.

Позначимо різницю потенціалів між електродами як:

$$U_i = \varphi_i - \varphi_{i-1}, \quad (2)$$

де φ_i – потенціал i -го електроду, В; $i = 1, 2 \dots N$;

При конформному відображенні електродної області на півплощину $\text{Im } z > 0$ потенціал електричного поля являє собою дійсну частину комплексного потенціалу [4]:

$$W(z) = \frac{j}{\pi} \sum_{i=1}^N U_i \cdot \ln(z - a_i) \quad (3)$$

де a_i – точки дійсної вісі, на які відображаються рукава смуги обмежені електродами.



Рисунок 1 – Система циліндричних електродів: а – однорядна; б – дворядна

Для знаходження функції, що конформно відображає верхню півплощину $\text{Im } z > 0$ на електродну область скористаємось інтегралом Кристоффеля-Шварца, який для області рис. 1а можна записати у вигляді:

$$\omega(z) = -Az^2 + \frac{B}{z} + C + \frac{1}{\pi} \sum_{i=1}^{N-1} h_i \ln(z - a_i), \quad (4)$$

де A, B, C, a_i – параметри;
 h_i – відстань між електродами в ряду.

Інтеграл Кристоффеля-Шварца для області рис. 1б:

$$\omega(z) = Az + \frac{B}{z - C_0} + C + \frac{1}{\pi} \sum_{i=1}^{N-1} h_i \cdot \ln(z - a_i) - \frac{1}{\pi} \sum_{k=0}^{M-1} h_k \ln(z - c_k). \quad (5)$$

Таким чином формули (3), (4) у параметричному вигляді задають комплексний потенціал електричного поля для електродної системи рис. 1а, а формули (3), (5) – для електродної системи рис. 1б.

Візуалізація полів, що описується формулами (3), (4), (5) здійснювалась за допомогою програмних засобів «Matlab». Силові та еквіпотенційні лінії поля однорядної системи електродів поля показані на рисунку 2, дворядної системи електродів – на рисунку 3.

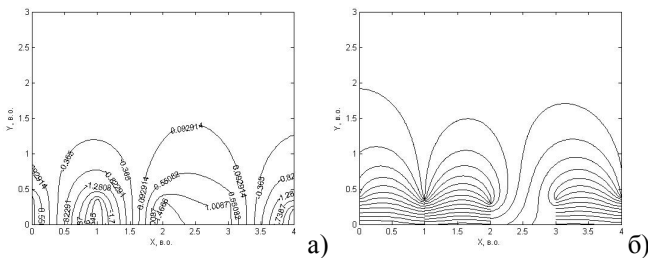


Рисунок 2 – Біжуче електричне поле в однорядній системі електродів: а – еквіпотенційні лінії; б – силові лінії

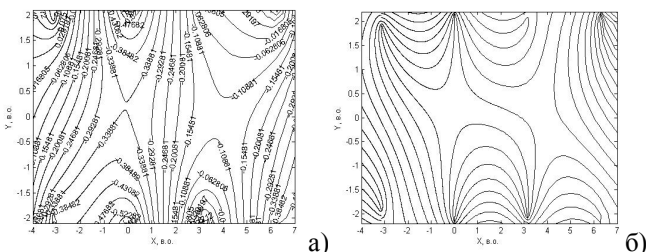


Рисунок 3 – Біжуче електричне поле в дворядній системі електродів: а – еквіпотенційні лінії; б – силові лінії

Візуалізація однорядного поля здійснювалась для параметрів, що входять до формул (3), (4): $a_1=1; a_2=2; a_3=4; a_4=6,5; a_5=9; a_6=11,5; a_7=13,5; a_8=14,5; A=B=0; C=6-j3; h_1=1; U_1=U_4=U_7=\sin(\omega t); U_2=U_5=U_8=\sin(\omega t + 2/3 \cdot \pi); U_3=U_6=\sin(\omega t + 4/3 \cdot \pi)$.

Візуалізація дворядного поля здійснювалась для наступних параметрів, що входять до формул (3),(5):

$A=B=0; C=j2\pi, a_1=-180; a_2=-30; a_3=-5,5; a_4=-0,9; a_5=-0,18; a_6=0,18; a_7=0,9; a_8=5,5; a_9=30; a_{10}=180; h_1=1; U_1=U_4=U_8=\sin(\omega t); U_2=U_5=U_7=U_{10}=\sin(\omega t + 2/3 \cdot \pi); U_3=U_6=U_9=\sin(\omega t + 4/3 \cdot \pi)$.

Висновки. Методи теорії функції комплексної змінної дозволили розрахувати біжуче електричне поле в однорядній та дворядній системі циліндричних електродів. Розрахунок трифазного біжучого поля показав, що всі параметри поля суттєво залежать від відношення відстаней між електродами та відстані між рядами. Отримані аналітичні залежності дозволяють розраховувати технологічні та конструктивні параметри електро-сепараторів з біжучим електричним полем.

Список використаних джерел

1. Эфендиев О. Ф. Электроочистка жидкости в пищевой промышленности / О. Ф. Эфендиев. – М.: Пищевая промышленность, 1977. – 149 с.
2. 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., 2010. – Вип. 148. – С. 117–122.
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, 2010. – Вип. 10, Т. 8. – С. 338–345.

Аннотация

МОДЕЛИРОВАНИЕ БЕГУЩЕГО ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ В ЭЛЕКТРОСЕПАРАТОРАХ ДИ-ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СУСПЕНЗИЙ

Назаренко И. П.

В работе представлены результаты математического моделирования бегущего электрического поля в электросепараторах диэлектрических суспензий. Осуществлена визуализация трехфазного бегущего электрического поля в однорядной и двухрядной системе электродов.

Abstract

A DESIGN OF THE HURRYING ELECTRIC FIELD IS IN THE ELECTRO-SEPARATORS OF DIELECTRIC SUSPENSION

I. Nazarenko

In work the results of mathematical design of the hurrying electric field are presented in electric separators of dielectric suspension. Visualization of the three-phase hurrying electric field is carried out in the one row and two row system of electrodes.