

УДК 635.64

ТЕОРЕТИЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ГЕОМЕТРИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ БАГАТОФАЗНИХ ЕЛЕКТРОДНИХ СИСТЕМ ЕЛЕКТРОСЕПАРАТОРІВ СЛАБОПРОВІДНИХ СУСПЕНЗІЙ

Назаренко І.П., к.т.н.

Таврійський державний агротехнологічний університет

Тел. (0619)43-54-32

Анотація – представлені результати теоретичного обґрунтування геометричних параметрів три та чотирифазних багатоелектродних систем електросепараторів слабопровідних суспензій.

Ключові слова – слабопровідна суспензія, електрод, сила, електричне поле, потенціал, електросепарація.

Постановка проблеми. В пристроях електричного очищення або сепарації слабопровідних суспензій використовують різноманітні за формою електроди, на які подають постійну або змінну напругу [1]. Найбільш поширеними є пластинчасті або циліндричні електроди розташовані рядами. Такі електродні системи дозволяють як вловлювати зважені частинки слабопровідних суспензій і накопичувати їх між пластинчастими електродами, так і транспортувати частинки вздовж рядів електродів на які подається багатозфазна система напруг [2].

Ефективність роботи електросепараторів та електроочищувачів залежить від величини сили, що діє на поляризовану частинку, яка знаходиться в електричному полі. Величина цієї сили залежить від багатьох чинників [2], в тому числі і від співвідношення відстаней між рядами електродів та електродами в ряду, тобто від співвідношення розмірів елементарної міжелектродної області. Тому визначення геометричних параметрів електродних систем, при яких сили, що діють на частинки будуть максимальні, є дуже важливими з точки зору підвищення ефективності роботи пристроїв очищення або сепарації слабопровідних суспензій в електричному полі.

Аналіз останніх досліджень.

В роботі [3] отримані аналітичні вирази, що описують поле сили, що діє на поляризовану частинку у вигляді кулі в системі пластинчастих безкінечних дворядних електродів при довільних потенціалах на електродах:

$$\left\{ \begin{aligned} \dot{F} &= \dot{A} \cdot \frac{B}{D} \cdot \frac{\overline{D} \cdot \overline{C} - \overline{H} \cdot \overline{B}}{(\overline{D})^2}, \\ B &= \frac{1}{\pi} \left(\sum_{k=1}^n \frac{U_{1(k-1)} - U_{1k}}{\omega - a_k} + \sum_{i=1}^{m-1} \frac{U_{2i} - U_{2(i+1)}}{\omega - c_{i+1}} + \frac{U_{1n} - U_{21}}{\omega - c_1} \right), \\ C &= -\frac{1}{\pi} \left(\sum_{k=1}^n \frac{U_{1(k-1)} - U_{1k}}{(\omega - a_k)^2} + \sum_{i=1}^{m-1} \frac{U_{2i} - U_{2(i+1)}}{(\omega - c_{i+1})^2} + \frac{U_{1n} - U_{21}}{(\omega - c_1)^2} \right), \\ D &= \frac{h}{\pi} \left(\sum_{k=1}^{n-1} \frac{1}{\omega - a_k} + \frac{1}{\omega - a_1} + \sum_{i=1}^{m-1} \frac{1}{\omega - c_i} + \frac{1}{\omega - c_1} \right), \\ H &= -\frac{h}{\pi} \left(\sum_{k=1}^{n-1} \frac{1}{(\omega - a_k)^2} + \frac{1}{(\omega - a_1)^2} + \sum_{i=1}^{m-1} \frac{1}{(\omega - c_i)^2} + \frac{1}{(\omega - c_1)^2} \right), \\ z &= \frac{1}{\pi} \sum_{k=1}^n h \ln(\omega - a_k) + \frac{1}{\pi} \sum_{i=1}^m h \ln(\omega - c_i), \end{aligned} \right. \quad (1)$$

де \dot{A} – комплексний параметр, що залежить від частоти електричного поля, діелектричної проникності та питомої електропровідності середовища та частинки;

U_{1k} – потенціал k -го електроду першого ряду, В;

U_{2i} – потенціал i -го електроду другого ряду, В;

ω' , z – комплексні змінні, м;

h – відстань між електродами в ряду, м;

c_i , a_k – константи.

Константи c_i , a_k знаходяться методом підбору [4] і визначають відстань між рядами електродів. Від цієї відстані відповідно формулам системи (1) залежить розподіл та величина сили, що діє на частинку в області між рядами електродів.

Формулювання цілей статті. Робота спрямована на теоретичне обґрунтування геометричних параметрів багатоелектродних систем пристроїв електросепарації або електроочищення слабопровідних суспензій.

Основна частина. Система електродів являє собою пластинчасті напівбезкінечні електроди, розташовані в два ряди з відстанню між рядами l та відстанню між електродами в ряду h , причому пари протилежних електродів лежать в одній площині (рис. 1).

Константи c_i , a_k були підібрані за допомогою програмних засобів «Matlab» для семи співвідношень h/l : 0,05; 0,2; 0,3; 0,5; 1; 1,5; 2; 3. Всі параметри функції, що відображає зведені в таблицю 1.

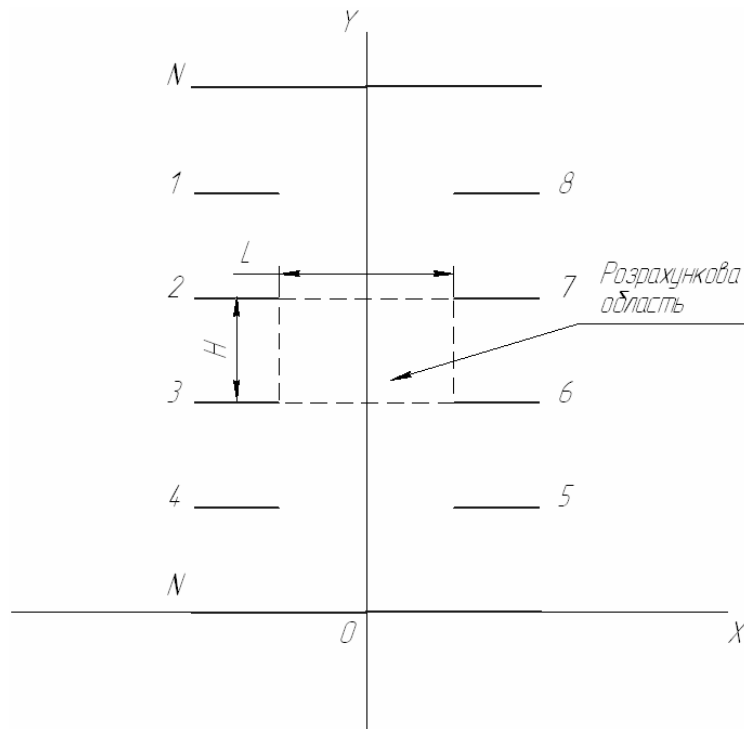


Рис. 1. Схема розташування електродів.

Таблиця 1 – Параметри функції z , що відображає для системи (1) з 10 електродами ($n = m = 5$)

Параметр	Величина							
	0,05	0,2	0,3	0,5	1	1,5	2	3
a_1	$-1,3 \cdot 10^5$	$-2,3 \cdot 10^3$	-700	-1000	-220	-150	-55	-63
a_2	-50	-14	-9	-35	-30	-35	-20	-33
a_3	-0,02	-0,1	-0,12	-1,2	-3,8	-6,8	-5,6	-14
a_4	$-8 \cdot 10^{-6}$	$-7 \cdot 10^{-4}$	$-1,7 \cdot 10^{-4}$	-0,045	-0,5	-1,4	-1,7	-6
a_5	$-3 \cdot 10^{-9}$	$-4 \cdot 10^{-6}$	$-2,5 \cdot 10^{-5}$	$-1,7 \cdot 10^{-4}$	-0,06	-0,35	-0,62	-3,2
c_1	$3 \cdot 10^{-9}$	$4 \cdot 10^{-6}$	$2,5 \cdot 10^{-5}$	$1,7 \cdot 10^{-4}$	0,06	0,35	0,62	3,2
c_2	$8 \cdot 10^{-6}$	$7 \cdot 10^{-4}$	$1,7 \cdot 10^{-4}$	0,045	0,5	1,4	1,7	6
c_3	0,02	0,1	0,12	1,2	3,8	6,8	5,6	14
c_4	50	14	9	35	30	35	20	33
c_5	$1,3 \cdot 10^5$	$2,3 \cdot 10^3$	700	1000	220	150	55	63

На конфігурацію поля впливає форма електродів та відстані між ними. Припустимо, що при зміні співвідношення відстані між рядами електродів до відстані між електродами в ряді (l/h) змінюється середня сила, що діє на частинку в міжелектродній області. Тоді можна знайти таке співвідношення, при якому при однаковій напруженості поля на поверхні електродів (найбільша напруженість в міжелектродній області) отримаємо поле сил з найбільшою середньою силою.

Середню силу в міжелектродній області визначимо як

$$\vec{F}_c = \frac{1}{S_Z} \iint_Z \vec{F}_c(x, y) dx dy = \int_a^b dx \int_c^d \vec{F}_c(x, y) dy, \quad (2)$$

де \vec{F}_c – середня сила в міжелектродній області, Н;

S_Z – площа області Z , що обмежена кривими $x = a$, $x = b$,
 $y = c$, $y = d$, м²;

$\vec{F}_c = (x, y)$ – векторна функція, що описує поле сил, Н.

Для розрахунку середньої сили використано графо-аналітичний метод. Відповідно до нього область між 4 електродами (2-3-6-7 електроди рис. 1) розбивалась на $n \cdot m$ рівних між собою прямокутників. За графіками, що отримані в результаті аналітичного моделювання поля сил при різних співвідношеннях l/h визначались сили в центрі прямокутників як

$$\vec{F}_c = \frac{1}{\sum(l_n) \sum(h_m)} \left(\sum F_{nm} l_n h_m \right), \quad (3)$$

де l_n – розмір прямокутників за координатою X , м;

h_m – розмір прямокутників за координатою Y , м.

Для системи двофазних електродів, що реалізують пульсуюче поле, на підставі результатів аналітичного моделювання поля сил за допомогою програмних засобів «Matlab», по формулам системи (1) побудовані графічна залежність X – складової середньої сили від співвідношення розмірів l/h (рис.1). Розрахунки велись для позитивної частини розрахункової області. Середнє значення Y -складової сили дорівнює 0. Розмір h , що відповідає відстані між електродами в ряді, складає у всіх випадках 1 м. Діюче значення потенціалів електродів – 1В. При моделюванні двофазного електричного поля розглядались два випадки: 1 – потенціали ближніх електродів не мають зсуву фаз (на електроди 1, 3, 6, 8 подається фаза А; на електроди 2, 4, 5, 7 – фаза В); 2 – потенціали ближніх електродів зсунуті по фазі на кут 2π рад (на електроди 1, 3, 5, 7 подається фаза А; на електроди 2, 4, 6, 8 – фаза В).

На рис. 2 побудовані графічні залежності приведеної (до однакової напруженості на торцях електродів) середньої сили, розрахованої за формулою 2.

Аналіз графічних залежностей рис. 2 дозволяє зробити висновок про перевагу схеми подачі напруги на електроди, при якій зсув фаз потенціалів сусідніх електродів між рядами відсутній. При однаковій напруженості електричного поля середня сила для такої схеми подачі напруги в два рази більша у порівнянні з випадком, коли фази зсунуті. Це пояснюється меншою напруженістю поля на електродах у першому випадку в порівнянні з другим в області максимальних сил при однакових діючих значеннях потенціалів на електродах.

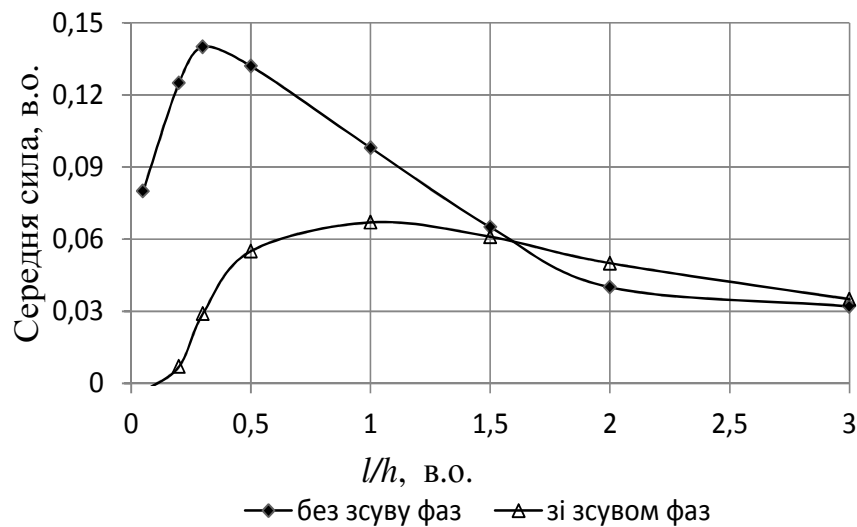


Рис.2. Залежність X- складової приведенної середньої сили, що направлена перпендикулярно рядом двофазної системи електродів від співвідношення розмірів міжелектродної області.

Максимальна сила для схеми подачі напруги без зсуву фаз знаходиться в інтервалі відносних розмірів від 0,3 до 0,5, а з зсувом фаз – від 0,5 до 1,5.

Таким чином, для очищення рідин в двофазному електричному полі або полі постійного струму доцільно використовувати схему подачі напруги без зсуву фаз на сусідніх між рядами електродів, а у разі постійного струму на таких електродів повинен бути однаковий знак потенціалу.

Розглянемо випадки, коли на електроди подається три та чотирифазний потенціал. При моделюванні трифазного електричного поля розглядалися два випадки: 1 – потенціали ближніх електродів не мають зсуву фаз (на електроди 1, 4, 5, 8 подається фаза А; на електроди 2, 7 – фаза В; на електроди 3, 6 – фаза С); 2 – потенціали ближніх електродів зсунуті по фазі на кут $2\pi/3$ рад (на електроди 1, 4, 6 подається фаза А; на електроди 2, 5, 8 – фаза В; на електроди 3, 7 – фаза С). При моделюванні чотирифазного електричного поля розглядалися також два випадки: 1 – потенціали ближніх електродів не мають зсуву фаз (на електроди 1, 8 подається фаза А; на електроди 2, 7 – фаза В; на електроди 3, 6 – фаза С; на електроди 4, 5 – фаза D); 2 – потенціали ближніх електродів зсунуті по фазі на кут $\pi/2$ рад (на електроди 1, 5 подається фаза А; на електроди 2, 8 – фаза В; на електроди 3, 7 – фаза С; на електроди 4, 8 – фаза D).

При таких схемах живлення електродної системи до X-складової сили, що визначається дійсною складовою комплексного параметра А у формулі (1) додається Y-складова сили, що визначається уявною

складовою комплексного параметра A і реалізується в біжучому електричному полі, яке створюється багатофазними системами електродів. X -складова цієї сили для багаторядних систем електродів, що розглядаються в роботі, відповідно результатам аналітичного моделювання у порівнянні з Y -складовою не значна і діє тільки поблизу електродів.

Спочатку розглянемо дію X -складової сили, графіки якої побудовані на підставі аналітичного моделювання поля сил за формулами (1).

На підставі розрахунку відносної приведенної середньої сили по формулі (3) побудовані графічні залежності приведенної середньої сили від співвідношення розмірів міжелектродної області (рис. 3).

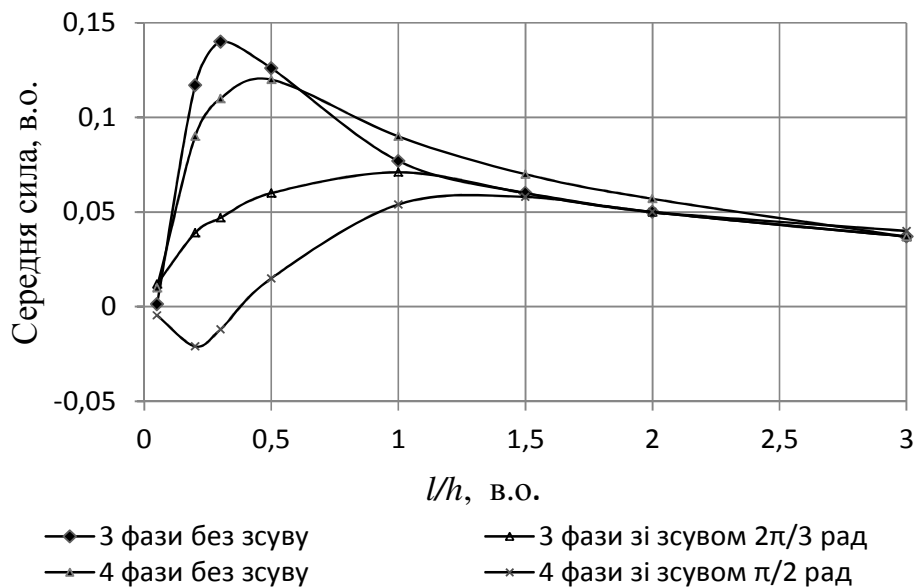


Рис. 3. Залежність X -складової приведенної середньої сили, що направлена перпендикулярно рядам електродів від співвідношення розмірів міжелектродної області.

Аналіз результатів наведених на рис. 3 дає можливість зробити висновок про незначну перевагу в середній силі трифазної системи перед чотирифазною, якщо відсутній зсув фаз. При наявності зсуву фаз середня сила при трифазній схемі подачі напруги значно більша за чотирифазну в діапазоні співвідношення розмірів від 0,3 до 1. Значно більша приведена середня сила при відсутності зсуву фаз пояснюється значно меншою напругою на електродах в діапазоні відносних розмірів від 0 до 1. Таким чином, як для трифазної схеми подачі напруги, так і для чотирифазної, максимальне значення відносної приведенної середньої сили лежить в межах відносних розмірів міжелектродної області від 0,3 до 1 при відсутності зсуву фаз. При наявності зсуву фаз

діапазон співвідношення розмірів для максимальної приведеної середньої сили лежить в межах від 0,5 до 2, але ця сила значно менша і тому використання схеми подачі напруги зі зсувом фаз не рекомендовано для вилучення частинок з рідини, що знаходиться між рядами електродів в область між електродними пластинами (чарунки накопичувачі).

Далі розглянемо дію Y -складової сили, що виникає в біжучому полі, графіки якої побудовані на підставі аналітичного моделювання поля сил. Графіки відповідних залежностей приведеної сили від співвідношення розмірів показані на рис. 4.

Аналіз графіків рис. 4 показує, що подача напруги без зсуву фаз більш придатна для отримання якомога більших сил в біжучому полі. Інтервал співвідношень розмірів міжелектродної області, де середня приведена сила максимальна, складає величину від 0,2 до 0,5 для системи напруг без зсуву фаз та від 0,2 до 1 – для системи напруг зі зсувом фаз.

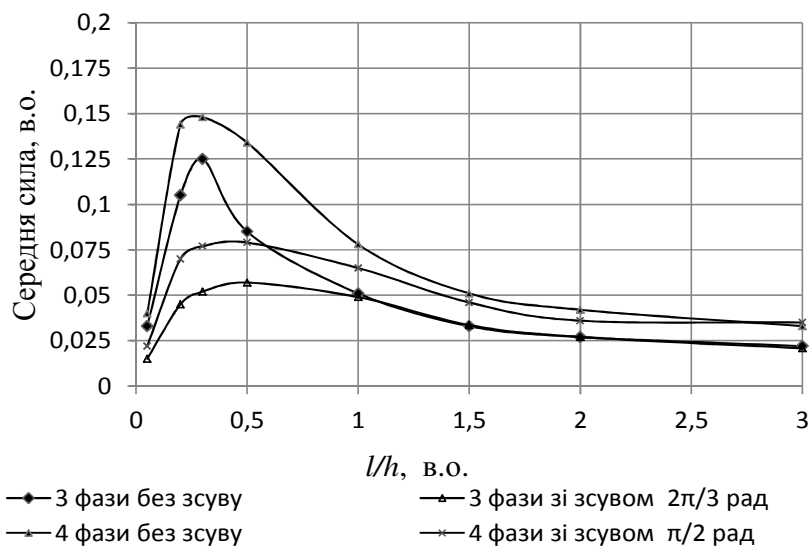


Рис. 4. Залежність Y -складової приведеної середньої сили, що направлена вздовж рядів електродів від співвідношення розмірів міжелектродної області.

Висновки. Аналітична модель електричного поля та поля сил дозволила обґрунтувати геометричні параметри електродних систем пристроїв очищення або сепарації слабопровідних суспензій за критерієм максимальної сили в міжелектродній області. Для симетричних багатофазних систем доцільно використовувати подачу напруги, коли потенціали ближніх електродів не мають зсуву фаз.

Література

1. *Эфендиев О.Ф.* Электроочистка жидкости в пищевой промышленности / *О.Ф. Эфендиев.* – М.: Пищевая промышленность, 1977. – 149с.
2. *Назаренко І.П.* Сепарація діелектричних суспензій в біжучому електричному полі / *І.П. Назаренко* // Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. – К.: 2010. – Вип.148. – С. 117-122.
3. *Назаренко І.П.* Теоретичні дослідження взаємодії електричного поля з діелектричними суспензіями в багатоелектродних системах / *І.П. Назаренко* // Праці Таврійського державного агротехнологічного університету. – Мелітополь: 2012. – Вип. 12. Т. 1. – С. 35-45.
4. *Лаврентьев М.А.* Методы теории функции комплексного переменного / *М.А. Лаврентьев, Б.В. Шабат.* – М.: Наука, 1987. – 740 с.

**ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ
ПАРАМЕТРОВ МНОГОЭЛЕКТРОДНЫХ СИСТЕМ
ЭЛЕКТРОСЕПАРАТОРОВ СЛАБОПРОВОДЯЩИХ
СУСПЕНЗИЙ**

И.П. Назаренко

Аннотация

Представлены результаты теоретического обоснования геометрических параметров многофазных электродных систем электросепараторов слабопроводящих суспензий.

**THEORETICAL RESEARCHES OF CO-OPERATION OF
ELECTRIC PAUL WITH DIELECTRIC SUSPENSION IN
SYSTEMS OF MULTIELECTRODES**

I. Nazarenko

Summary

The results of theoretical determination of geometrical parameters of the systems of electrodes with many phases of electro-separators of dielectric suspension are presented