

METHOD OF GROWING MICROALGAE IN EDITOR UTILIZATION OF GASES OF SOLID OXIDE FUEL CELLS

N. Burega

Abstract. *The analysis of the training environment and the cultivation of algae cultivation methods proposed design of a flat, vertical fotobioreaktor of industrial type.*

Key words: *fotoreaktor, culture medium, carbon dioxide, microalgae, Chlorella vulgaris.*

УДК 535.3

ДИЕЛЕКТРИЧНІ ВЛАСТИВОСТІ МАТРИЧНИХ ДИСПЕРСНИХ СИСТЕМ ІЗ ДВОШАРОВИМИ ВКЛЮЧЕННЯМИ В НАБЛИЖЕННІ МАКСВЕЛЛ-ГАРНЕТТА

*С. В. Шостак, кандидат фізико-математичних наук
e-mail: nni.elektrik@gmail.com*

Анотація. *Розраховано діелектричні втрати в матричних дисперсних системах із двошаровими кульовими включеннями. У наближенні Максвелл-Гарнетта проведено детальний аналіз залежностей ефективної діелектричної проникності як від частоти зовнішнього поля, так і від параметрів системи.*

Ключові слова: *діелектричні втрати, матричні дисперсні системи, ефективна діелектрична проникність.*

Дослідженню діелектричних втрат (ДВ) у матричних дисперсних системах (МДС) присвячена значна кількість робіт [1–8]. У деяких із цих робіт досліджено частотні залежності дійсної та уявної частини ефективної діелектричної проникності таких систем залежно від їх фізико-хімічних параметрів, причому в основному вивчалися (МДС) із діелектричною матрицею з включеннями різної форми та природи.

Основною задачею щодо знаходження ДВ у МДС є розрахунок частотної залежності уявної частини ефективної діелектричної проникності $\text{Im}\tilde{\varepsilon}(\omega)$ у таких системах з урахуванням їх складу і структури та подальше обчислення величини ДВ за формулою:

$$W = \frac{1}{4\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \omega \left[\tilde{\varepsilon}''(\omega) |\mathbf{E}_{\omega}|^2 + \tilde{\mu}''(\omega) |\mathbf{H}_{\omega}|^2 \right] d\omega, \quad (1)$$

де \mathbf{E}_{ω} і \mathbf{H}_{ω} – Фур'є компоненти зовнішніх полів $\mathbf{E}(r,t)$ і $\mathbf{H}(r,t)$; $\tilde{\varepsilon}''$ і $\tilde{\mu}''$ – відповідно, уявні частини ефективних діелектричної та магнітної проникності МДС.

Мета досліджень – розрахунок частотних залежностей ефективної діелектричної проникності для МДС із двошаровими кульовими включеннями із провідною анізотропною плівкою.

Матеріали та методика досліджень. У роботі було використано механізми й закономірності поглинання та розсіяння електромагнітного випромінювання з двошаровими кульовими включеннями.

Результати досліджень. Методи розрахунку поглинання електромагнітного випромінювання (ЕМВ) у матричних дисперсних системах (МДС) із багатошаровими включеннями (у нашому випадку двошарові) ми продемонструємо на такій модельній системі [9]: двошарові сферичні частинки SiO_2 (радіусу r) з плівкою адсорбованої води завтовшки $h = R - r$, розміщені в матриці з діелектричною проникністю ε_1 (рис.1).

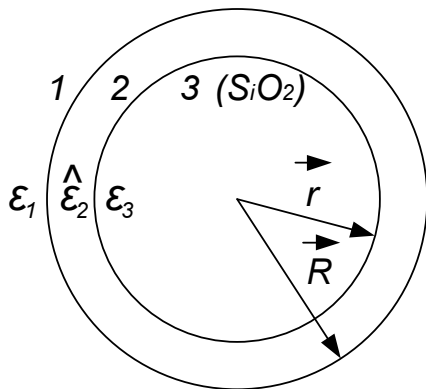


Рис. 1. Модель неоднорідної кулі, покритої адсорбованою плівкою з тензором діелектричної проникності

$$\hat{\varepsilon}_2 = \begin{pmatrix} \varepsilon_n, 0, 0 \\ 0, \varepsilon_t, 0 \\ 0, 0, \varepsilon_t \end{pmatrix}$$

Діелектрична проникність $SiO_2 - \varepsilon_3$ (надалі ε_3 вибиралася рівною 1,5), концентрація включень N , а діелектрична проникність плівки має вигляд тензора:

$$\hat{\varepsilon}_2 = \begin{pmatrix} \varepsilon_n, 0, 0 \\ 0, \varepsilon_t, 0 \\ 0, 0, \varepsilon_t \end{pmatrix}, \quad (2)$$

де ε_n і ε_t – відповідно, нормальна і тангенціальна складові компоненти тензора діелектричної проникності адсорбованої води. Такий вид тензора було взято з роботи [10]. Позначимо всі комплексні діелектричні проникності через $\tilde{\varepsilon}$.

Відомо, що поглинання ЕМВ у системах подібного типу добре визначається уявною частиною ефективної діелектричної проникності системи. Оскільки ми розглядаємо низькочастотну область поглинання ЕМВ (де $\lambda \gg R$, λ – довжина хвилі випромінювання), то в даному випадку для розрахунку $\tilde{\varepsilon}(\omega)$ з великою точністю може бути використано наближення Максвелл-Гарнетта, яке для даної моделі запишеться в наступному вигляді:

$$\frac{\tilde{\varepsilon}(\omega) - \varepsilon_1}{\tilde{\varepsilon}(\omega) + 2\varepsilon_1} = \frac{4}{3} \pi N \alpha(\omega), \quad (3)$$

де $\alpha(\omega)$ – поляризованість неоднорідної двошарової кулі радіусу R у зовнішньому полі. При виконанні умови $\lambda \gg R$, вираз для $\alpha(\omega)$ має вигляд [9]:

$$\alpha = R^3 \frac{[(s+1)\varepsilon_n + \varepsilon_3][s\varepsilon_n - \varepsilon_1]q^{2s+1} + [\varepsilon_3 - s\varepsilon_n][\varepsilon_1 + (s+1)\varepsilon_n]}{[\varepsilon_3 + (s+1)\varepsilon_n][2\varepsilon_1 + s\varepsilon_n]q^{2s+1} + [2\varepsilon_1] - (s+1)\varepsilon[s\varepsilon_n - \varepsilon_3]}, \quad (4)$$

де $s = \left(2\varepsilon_t / \varepsilon_n + \frac{1}{4}\right)^{1/2} - \frac{1}{2}$, $q = R/r$.

У випадку $\varepsilon_t = \varepsilon_n = \varepsilon_2(\omega)$ вираз (4) переходить у відомий вираз для поляризованості двошарової неоднорідної кулі

$$\alpha = R^3 \frac{(2\varepsilon_2 + \varepsilon_3)(\varepsilon_2 - \varepsilon_1)q^3 + (\varepsilon_3 - \varepsilon_2)(\varepsilon_1 + 2\varepsilon_2)}{(\varepsilon_3 + 2\varepsilon_2)(2\varepsilon_1 + \varepsilon_2)q^3 + 2(\varepsilon_1 - \varepsilon_2)(\varepsilon_2 - \varepsilon_3)}. \quad (5)$$

З (5) випливає ряд практично важливих висновків, які реалізуються при великих частотах. Так, при виконанні умови

$$q^3 = \frac{(\varepsilon_2 - \varepsilon_3)(\varepsilon_1 + 2\varepsilon_2)}{(\varepsilon_2 - \varepsilon_1)(\varepsilon_3 + 2\varepsilon_2)} \quad (6)$$

поляризованість кулі прямує до нуля.

При виконанні умов (5) та (6) ефективна діелектрична проникність окремої кулі

$$\varepsilon = \varepsilon_2 \frac{2\varepsilon_2(q^3 - 1) + \varepsilon_3(q^3 + 2)}{\varepsilon_2(2q^3 + 1) + \varepsilon_3(q^3 - 1)} \quad (7)$$

точно дорівнює діелектричній проникності оточення (область 3). Фізично це означає, що електромагнітна хвиля, проходячи через таке дисперсне середовище, практично не розсіюється (“просвітлення” дисперсних систем [11]).

Перейдемо тепер до розрахунку й аналізу ефективної діелектричної проникності системи в цілому. У випадку $\varepsilon_t = \varepsilon_n$ з формул (3) і (5) знаходимо:

$$\tilde{\varepsilon} = \varepsilon_1 \frac{1 + 2f\bar{\varepsilon}_1}{1 - f\bar{\varepsilon}_1}; \quad \bar{\varepsilon}_1 = \frac{\varepsilon - \varepsilon_1}{\varepsilon + 2\varepsilon_1}, \quad (8)$$

де $f = \frac{4}{3}\pi R^3 N$ – об’ємна концентрація включень (ступень заповнення);

ε – ефективна діелектрична проникність окремої двошарової кулі, яка знаходиться за формулою (7).

Розкладаючи вираз (8) на елементарні множники, знаходимо:

$$\tilde{\varepsilon} = \tilde{\varepsilon}_\infty + \frac{C_1(\tilde{\varepsilon}_- - \tilde{\varepsilon}_\infty)}{1 + i\omega\tau_3} + \frac{C_2(\tilde{\varepsilon}_- - \tilde{\varepsilon}_\infty)}{1 + i\omega\tau_4}, \quad (9)$$

де

$$\tilde{\varepsilon}_\infty = \varepsilon_1 \frac{(1 + 2f)\varepsilon_{2\infty} + 2\varepsilon_1(1 - f)}{(1 - f)\varepsilon_{2\infty} + \varepsilon_1(2 + f)}, \quad (10)$$

$$\tilde{\varepsilon}_0 - \tilde{\varepsilon}_\infty = \frac{9f\varepsilon_1}{(1-f)[(1-f)\varepsilon_{2\infty} + \varepsilon_1(2+f)]}; \quad (11)$$

$$C_1 = \frac{\tau_4}{\tau_1} \cdot \frac{(\tau_3 - \tau_1)}{(\tau_3 - \tau_4)}; \quad C_2 = \frac{\tau_3}{\tau_1} \cdot \frac{(\tau_1 - \tau_4)}{(\tau_3 - \tau_4)}. \quad (12)$$

Відзначимо, що

$$C_1 + C_2 = 1, \quad (13)$$

а τ_3 і τ_4 знаходяться з наступних двох рівнянь:

$$\tau_3 + \tau_4 = \tau_1 + \tau_2 \frac{(\varepsilon_{20} - \varepsilon_{2\infty})}{\varepsilon_{20}} + \tau_2 \frac{[\varepsilon_{2\infty}(1-f) + \varepsilon_1(2+f)]}{\varepsilon_{20}(1-f)}; \quad (14)$$

$$\tau_3\tau_4 = \frac{\varepsilon_{2\infty}(1-f) + \varepsilon_1(2+f)}{\varepsilon_{20}(1-f)}. \quad (15)$$

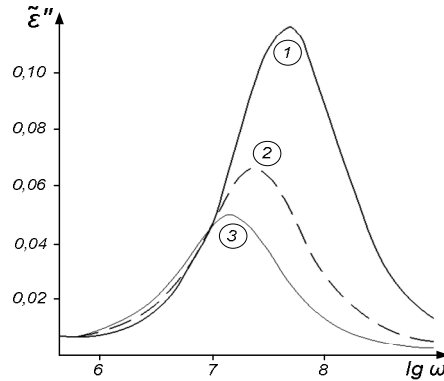
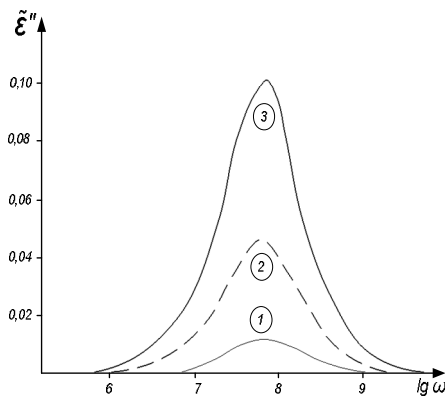
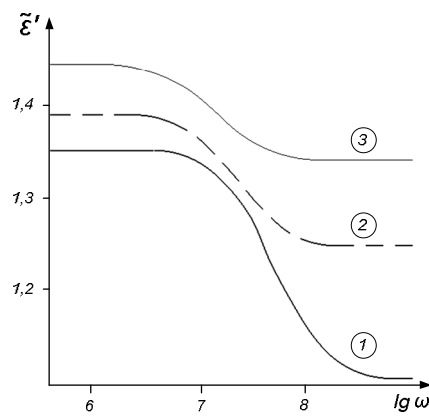
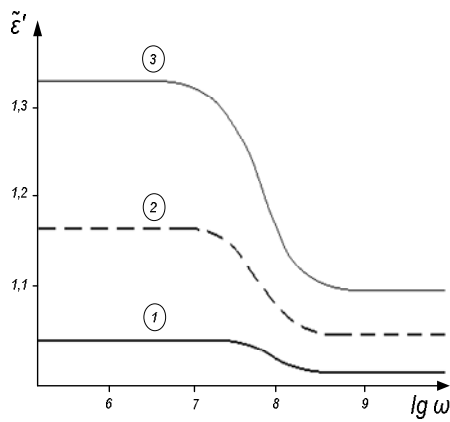


Рис. 2. Залежності $\tilde{\varepsilon}'$ та $\tilde{\varepsilon}''$ для $\sigma_s = 5 \cdot 10^{-11} \text{ Ом}^{-1}$, $\chi = 0.01$, $r = 5 \cdot 10^{-7} \text{ м}$:

$$\varepsilon_l = \varepsilon_n = \varepsilon_2 = \varepsilon_B \left(1 + \frac{1}{i\omega\tau_0}\right)$$

$$1 - f_0 = 0.01, \quad \tau_0 = \frac{\varepsilon_B \varepsilon_0}{\sigma};$$

$$2 - f_0 = 0.05, \quad \sigma = \frac{\sigma_s}{h};$$

$$3 - f_0 = 0.1.$$

Рис. 3. Залежності $\tilde{\varepsilon}'$ та $\tilde{\varepsilon}''$ для $\sigma_s = 5 \cdot 10^{-11} \text{ Ом}^{-1}$, $f_0 = 0.1$, $r = 5 \cdot 10^{-7} \text{ м}$:

$$1 - \chi = 0.01,$$

$$2 - \chi = 0.1,$$

$$3 - \chi = 0.2.$$

Отримані аналітичні залежності ефективної діелектричної проникності системи від параметрів: $x_1 = \frac{1}{3} \left(\frac{R^3 - r^3}{R^3} \right)$ (відносний вклад

об'єму води в окремій частинці аеросилу) і f (ступінь заповнення) повністю розв'язують задачу про діелектричні втрати в таких дисперсних системах.

Нижче на рисунках наведено частотні залежності дійсної та уявної частин ефективної діелектричної проникності $\tilde{\epsilon}$ дисперсного діоксиду кремнію для різних значень параметрів: степені заповнення $f_0 = 4/3\pi r^3 \cdot N$ (рис. 2), поверхневої провідності σ_s (рис. 3) та об'ємного вмісту води

$$x = \frac{R^3 - r^3}{R^3} \text{ (рис. 4).}$$

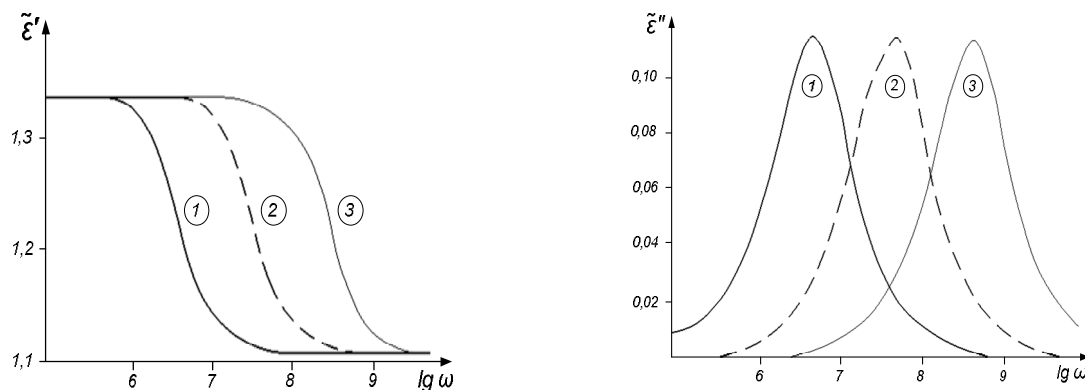


Рис. 4. Залежності $\tilde{\epsilon}'$ та $\tilde{\epsilon}''$ для $f_0 = 0.1$, $x = 0.01$, $r = 5 \cdot 10^{-7} \text{ м}$,
 1 – $\sigma_s = 5 \cdot 10^{-11} \text{ Ом}^{-1}$, 2 – $\sigma_s = 5 \cdot 10^{-11} \text{ Ом}^{-1}$, 3 – $\sigma_s = 5 \cdot 10^{-11} \text{ Ом}^{-1}$

Тут і надалі частота ω приведена в Гц. При розрахунках діелектрична проникність SiO_2 вибиралася рівною $\epsilon_3 = 1.5$, а діелектрична проникність середовища – $\epsilon_1 = 1$; вважалося, що діелектрична проникність

плівки визначалася формулою $\epsilon_2 = \epsilon_0 \left(1 + \frac{1}{i\omega\tau_0} \right)$, причому $\epsilon_n = \epsilon_i$.

Висновки

У наближенні Максвелл-Гарнетта проведено детальний аналіз залежностей ефективної діелектричної проникності як від частоти зовнішнього поля, так і від параметрів системи. Розраховано діелектричні втрати в матричних дисперсних системах із двошаровими кульовими включеннями. З одержаних результатів випливає, що при провідностях $\sigma_s \sim (10^{-10} - 10^{-11}) \text{ Ом}^{-1}$, (експериментальне значення [10]), величині ступеня заповнення $f \sim (0.05 - 0.1)$ та об'ємному вмісту води $x \sim 1\%$ в області частот $\omega \sim (10^7 - 10^8) \text{ Гц}$ спостерігаються діелектричні втрати на рівні $\tilde{\epsilon}'' \sim (0.1 - 0.2)$.

Список литературы

1. Челидзе Т. Л. Электрическая спектроскопия гетерогенных систем / Челидзе Т. Л., Деревянко А. И., Куриленко О. Д. – К. : Наук. думка, 1977. – 232 с.
2. Felderhof B. U., Ford G. W., Cohen E. G. D. Cluster expansion for the dielectric constant of a polarizable suspension // J. Stat. Phys. – 1982. – 28, № 1. – P. 135–164.
3. Lamb W., Wood D. M., Ashcroft N. W. Long-wavelength electromagnetic propagation in heterogeneous media // Phys. Rev. B. – 1980. – 21, № 6. – P. 2248–2266.
4. Ландау Л. Д. Электродинамика сплошных сред / Ландау Л. Д., Лифшиц Е. М. // Теоретическая физика. – Т. 8. – М. : Наука, 1982. – 624 с.
5. Maxwell J. C. A treatise on electricity and magnetism. – Oxford : Clarendon, 1891. – 3rd ed. – Vol. 2.
6. Maxwell Garnett J. C. Colours in metal glasses and in metallic films // Philos. Trans. Roy. Soc. – 1904. – A203. – P. 385–420.
7. Grechko L. G. Influence of particle multipole interaction on the absorption spectra of radiation in the metallic composites / Grechko L. G., Pustovit V. N., Shostak S. V. // Proc. SPIE. – 1999. – V. 3890. – P. 391–397.
8. Диэлектрические потери в многослойных дисперсных системах / Гречко Л. Г., Зарко Г. М., Козуб Г. М. и др. // ИТФ-91-26Р. – К., 1991. – 33 с. (препринт).
9. Шостак С. В. Диелектричні втрати в матричних дисперсних системах / С. В. Шостак, Д. Л. Водоп'янов, Л. Г. Гречко // Вісник Київського Університету. Серія «Фізико-математичні науки». – 2002. – Вип. 1. – С. 412–420.
10. Гречко Л. Г. Диэлектрическая проницаемость дисперсных систем / Л. Г. Гречко, В. В. Мотрич, В. М. Огненко // Химия, физика и технология поверхности. – 1993. – Вип. 1. – С. 17–36.
11. Пришивалко А. П. Рассеяния и поглощение света неоднородными и анизотропными сферическими частицами / Пришивалко А. П., Бабенко А. П., Кузьмин В. Н. – Мн. : Наука и техника, 1984. – 263 с.

ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА МАТРИЧНЫХ ДИСПЕРСНЫХ СИСТЕМ С ДВУХСЛОЙНЫМИ ВКЛЮЧЕНИЯМИ В ПРИБЛИЖЕНИИ МАКСВЕЛЛ-ГАРНЕТТА

С. В. Шостак

Аннотация. Рассчитано диэлектрические потери в матричных дисперсных системах с двухслойными сферическими включениями. В приближении Максвелл-Гарнетта проведен детальный анализ зависимостей эффективной диэлектрической проницаемости как от частоты внешнего поля, так и от параметров системы.

Ключевые слова: диэлектрические потери, матричные дисперсные системы, эффективная диэлектрическая проницаемость.

DIELECTRIC PROPERTIES OF THE MATRIX DISPERSED SYSTEMS WITH TWO-LAYERED INCLUSIONS IN THE MAXWELL-GARNETT APPROXIMATION

S. Shostak

Annotation. *Calculated dielectric losses in the matrix dispersed systems with two-layer spherical inclusions. In the approximation of Maxwell-Garnett made a detailed analysis of the dependence of the effective permittivity as the frequency of the external field and the parameters of the system.*

Key words: *dielectric loss, matrix dispersion systems, the effective dielectric constant.*

УДК 620.92

ПИТОМА ЕНЕРГОЄМНІСТЬ ВИРОБНИЦТВА ДИЗЕЛЬНОГО БІОПАЛИВА З ВИКОРИСТАННЯМ ГІДРОМЕХАНІЧНОГО ПЕРЕМІШУВАННЯ

*М. Ю. Павленко, кандидат технічних наук
О. Ю. Осипчук, інженер
e-mail: Maxim_Pavlenko@j.ua*

Анотація. *Наведено питому енергоємність при виробництві дизельного біопалива залежно від конструктивних параметрів обладнання для виробництва дизельного біопалива при використанні гідромеханічного перемішування рослинної олії.*

Ключові слова: *дизельне біопаливо, гідростанція, питома енергоємність, частота обертання двигуна, діаметр форсунок, кут нахилу лопаток.*

На сьогодні достатньо серйозно стоїть питання заміни палив отриманих із нафти, а саме: дизельного палива, ціна якого помітно зростає, на паливо отримане з біомаси. Адже запаси нафти з кожним роком зменшуються, а кількість техніки, яка працює на дизельних двигунах, – збільшується. Найбільш реальним замінником традиційного дизельного палива може бути дизельне біопаливо, отримане як рослинної олії, так і з тваринних жирів. Тому виникає потреба вдосконалення обладнання для виробництва дизельного біопалива із застосуванням нових конструкційно-технологічних рішень для спрощення процесу виробництва та зменшення питомих енерговитрат при дотриманні якісних показників дизельного біопалива.

Одним із перспективних напрямів удосконалення обладнання для виробництва дизельного біопалива є використання гідромеханічного перемішування в процесі естерифікації на противагу використанню механічних мішалок.

Над удосконаленням обладнання та технологічних ліній для виробництва дизельного біопалива працював В. О. Дубровін та інші [ошибка! Неизвестный аргумент ключа.], які у своїх працях узагальнили досвід виробництва та використання біопалив. Було також розроблено обладнання для виробництва дизельного біопалива з використанням