

МОДЕЛЮВАННЯ МАГНІТНОЇ ПРОНИКНОСТІ СЕРЕДОВИЩА З ХАОТИЧНО РОЗМІЩЕННЯМИ ВКЛЮЧЕННЯМИ МАЛОГО РОЗМІРУ

Борис Євстигнєв

Інститут прикладних проблем механіки і математики ім. Я. С. Підстригача НАН
України

Розглядається задача електромагнітного (ЕМ) розсіювання на сукупності частинок (включень) малого розміру, на поверхні яких задано граничні умови імпедансного типу. Характеристики розсіювання такого середовища було досліджено в [1]. Суттєвою його властивістю є зміна магнітної проникності μ внаслідок поміщення включень в однорідне середовище. Якщо початкова проникність була постійною, то неоднорідне середовище зі сукупністю вбудованих частинок набуває змінної магнітної проникності $\mu(x)$.

Формування змінної проникності $\mu(x)$ відбувається за рахунок двох додаткових функцій, які характеризують густину розміщення включень чи їхній поверхневий імпеданс. Припустимо, що кількість частинок в заданій неоднорідній області D визначається формулою

$$N(x) = a^{-2} \int_D N(x) dx, \quad (1)$$

де a – радіус включення (припускаємо, що включення – сфери радіусом a), $N(x)$ – довільна неперервна функція в D , рівна нулю поза цією областю. Імпеданс включень визначається формулою

$$\zeta(x) = h(x) / a. \quad (2)$$

Розв'язок задачі ЕМ розсіювання зручно записати у формі, де фігурують відомі функції $N(x)$ і $h(x)$

$$\mathbf{E}(x) = \mathbf{E}_0(x) + \frac{c_s}{i\omega\mu_0} \nabla \times \int_D g(x, y) [I + \alpha] [\nabla \times \mathbf{E}(y)] N(y) h(y) dy, \quad (3)$$

де $\mathbf{E}_0(x)$ – падаюче поле, M – кількість включень, S_m – поверхня m -го включення, $g(x, y)$ – функція Гріна тривимірного простору, c_s – параметр,
<http://www.iapmm.lviv.ua/chyt2024>

**Конференція молодих учених «Підстригачівські читання – 2024»,
27–29 травня 2024 р., Львів**

який визначає форму включення (площа включення є $c_s a^2$); наприклад, для сфери $c_s = 4\pi/3$; ω – частота випромінювання; I – одинична матриця, α – матриця-тензор, яка визначається формою включень.

Використовуючи формулу (3) і перше рівняння Максвелла для вектора електричного поля, ми отримуємо:

$$\mu(x) = \mu / (1 + c_1 N(x) h(x)), \quad (4)$$

де $c_1 = c_s / i\omega\mu$, а μ – магнітна проникність початкового однорідного середовища. Таким чином, магнітна проникність нового неоднорідного середовища може змінюватися за рахунок вибору функцій $N(x)$ і $h(x)$.

Алгоритм знаходження $\mu(x)$ у випадку хаотичного розміщення включень суттєво відрізняється від випадку регулярного розміщення включень [2]. Для випадку регулярного розміщення включень функція $N(x)$ є, як правило, постійною для всієї області D . У випадку хаотичного розміщення включень область D необхідно розбивати на підобласті Δ_p і в кожній з них знаходити функцію $N(x)$ окремо з формули (1). При цьому кількість включень у цих підобластях має бути визначена згідно початкового способу їхнього розміщення і загальної кількості. В доповіді буде наведено результати моделювання змінного розподілу $\mu(x)$ для низки значень вхідних параметрів $a, M, N(x)$ і $h(x)$ задачі.

1. М. І. Андрійчук, Б. С. Свстигнєєв. Асимптотичний метод розв'язування задачі розсіювання електромагнітних хвиль на сукупності імпедансних частинок малого розміру // *Мат. методи та фізико-механічні поля.* – 2022. – **65**, № 3-4. – С. 2-3.
2. Ramm A. G. Andriychuk M. I. Application of the asymptotic solution to EM field scattering problem for creation of media with prescribed permeability // *J. Appl. Math. Comput.* – 2014. – **45**, no 1. – P. 461-485. doi: 10.1007/s12190-013-0732-7.

**SIMULATION OF MAGNETIC PERMEABILITY OF MEDIUM WITH
CHAOTICALLY ARRANGED SMALL-SIZE PARTICLES**

In this study, we solve the electromagnetic scattering problem on a set of small-size particles using an asymptotic approach. This allows us to explicitly determine the magnetic permeability of the resulting inhomogeneous medium. The numerical simulation results are presented.