

ОБЕРНЕНА ЗАДАЧА ЕЛЕКТРОМАГНІТНОГО РОЗСІЮВАННЯ НА МАЛИХ ВКЛЮЧЕННЯХ: ГЕНЕТИЧНИЙ АЛГОРИТМ НА БАЗІ АСИМПТОТИЧНОГО ПРЯМОГО РОЗВ'ЯЗКУ

Борис Євстигнєєв

Інститут прикладних проблем механіки і математики
ім. Я. С. Підстригача НАН України. molnerats@gmail.com

Нехай в однорідне середовище вбудовані довільним чином частинки
малого розміру, на поверхні яких задано граничні умови імпедансного типу.
Кількість таких включень визначено формулою густини:

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

де a — радіус включення, D — розглядувана неоднорідна область, $N(x) \geq 0$ — довільна неперервна функція в D , рівна нулю поза цією областю. Імпеданс включень визначається формулою:

$$\zeta(x) = \frac{h(x)}{a}, \quad (2)$$

де $h(x)$ також є довільною неперервною функцією. У попередніх роботах [1] із застосуванням асимптотичного методу було виведено явні формули для розв'язку задачі ЕМ розсіювання (шляхом визначення векторів **Е** та **Н** у відповідній системі рівнянь Максвелла), а також для обчислення магнітної проникності утвореного неоднорідного матеріалу, що стає змінною:

$$\mu(x) = \frac{\mu_1}{1 + c_1 N(x) h(x)}, \quad (3)$$

де c_1 залежить від форми включень (для сфери це буде $\frac{4\pi}{3i\omega\mu_1}$), а μ_1 — магнітна проникність початкового однорідного середовища.

Сформулюємо *пряму* задачу так: маючи задану область D та параметри $\mu_1, N(x), h(x), a$, обчислити $\mu(x)$ за формулою (3). Подання через функціонал:

$$\mu(x) = \text{Func}(D, N(x), h(x), a, \mu_1, x). \quad (4)$$

Тоді поставимо *обернену* задачу як: маючи бажані значення $\mu(x)$, знайти таку область D і супутні параметри, що дозволяють досягти цих значень із прийнятною точністю. Відповідна задача оптимізації матиме вигляд:

$$\| \bar{\mu}_{expected} - \overline{\text{Func}}_x(D, N_x, h_x, a, \mu_1) \| \rightarrow \min. \quad (5)$$

Конференція молодих учених «Підстригачівські читання – 2025», 27–29 травня 2025 р., Львів

Тут індекс x позначає, що $\overline{Func}_x$ є масивом (вектором) значень $Func$ у всіх розглядуваних точках області. Вектор $\bar{\mu}_{expected}$ буде такої ж розмірності.

Оскільки розподіл включень в області довільний, функція їхньої густини $N(x)$ також довільна — це спонукає застосовувати евристичні алгоритми для розв’язку оберненої задачі. Зокрема, в цьому дослідженні ми скористалися класичним генетичним алгоритмом (ГА) на базі бітових рядків [2].

Минулі роботи показали, що пряма задача є ресурсозатратною, особливо якщо йдеться не лише про розрахунок за формулою (3), а й верифікацію застосовності асимптотичного методу для поточних параметрів, формування області тощо. Через потребу багаторазового розв’язку прямої задачі на кожній ітерації ГА, повстало питання про пришвидшення алгоритму. Паралелізація окремих етапів прискорила обчислення в десятки разів, а аналіз виконання програми на різних машинах і вибір найкращого CPU дозволив скоротити час ще вдвічі. Також суттєвою економією став запуск верифікації лише для тих індивідів (наборів параметрів), які ГА планує включати в наступне покоління.

У першій реалізації алгоритм підбирав вхідні дані на вже сформованій області: розмір включень, матеріальні параметри, частота хвилі, функція імпедансу. Бажаних значень магнітної проникності вдалося досягти із відносною похибкою близько 20%. Також можливо змінити цільову функцію, щоби оптимізувати не за $\mu(x)$, а за іншим параметром, наприклад, коефіцієнтом рефракції.

В подальшому планується додати в перебір такі параметри як розмір області, відстань між включеннями та спосіб їх розподілу — що потенційно має дозволити досягати бажаних значень з більшою точністю.

1. Андрійчук М., Євстигнєєв Б. (2024). Зміна магнітної проникності неоднорідного матеріалу за рахунок включень з поверхневим імпедансом. Фізико-математичне моделювання та інформаційні технології, 1(39), 84-93.
2. Holland, J. H. (1992). Adaptation in natural and artificial systems: an introductory analysis with applications to biology, control, and artificial intelligence. MIT press.

INVERSE ELECTROMAGNETIC WAVE SCATTERING PROBLEM ON SMALL PARTICLES: A GENETIC ALGORITHM WITH ASYMPTOTIC DIRECT SOLVER

In this work, we address the inverse electromagnetic wave scattering problem on a set of chaotically distributed small particles. A genetic algorithm is employed to reconstruct the spatial distribution of the effective magnetic permeability of the resulting inhomogeneous medium. The direct problem, solved repeatedly during optimization, is handled using explicit formulas derived from an asymptotic method. Numerical results demonstrate that the reconstructed permeability achieves relative errors near 20% of the target values, highlighting both the current limitations and future potential of the method.