ОСОБЛИВОСТІ КОМП'ЮТЕРНИХ РОЗРАХУНКІВ ЕЛЕКТРОМАГНІТНОГО РОЗСІЮВАННЯ Т-МАТРИЧНИМ МЕТОДОМ

Богомолов М.Ф., к.т.н., доцент; Шатило О.О.
Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут», м. Київ, Україна

Одним з найбільш універсальних та ефективних комп'ютерних методів розрахунку електромагнітного розсіювання на основі чисельного розв'язку макроскопічних рівнянь Максвелла є Т-матричний метод [1]. Цей метод можна застосовувати як до одиничних, так і групових розсіюючих об'єктів. У першому випадку розрахунок Т матриці здійснюється за допомогою методу розширеної граничної умови [3], у другому - за допомогою методу суперпозиції, що безпосередньо випливає з рівнянь Фолді-Лакса [1].

Розсіювання плоскої електромагнітної хвилі довільним скінченним об'єктом можна представити системою рівнянь:

$$E^{inc}(r) = E_0^{inc} \exp\left(ik_i \hat{n}^{inc} \cdot r \right), \quad E_0^{inc} \cdot \hat{n}^{inc} = 0 \tag{1.1}$$

Розкладаючи падаюче і розсіяне поля в ряди за векторними сферичними хвильовим функціями, можна отримати наступні розв'язки:

$$E^{inc}(r) = \sum_{n=1}^{\infty} \sum_{m=-n}^{n} \left[a_{mn} RgM_{mn}(k_1 r) + b_{mn} RgN_{mn}(k_1 r) \right], \tag{1.2}$$

$$E^{inc}(r) = \sum_{n=1}^{\infty} \sum_{m=-n}^{n} \left[p_{mn} M_{mn}(k_1 r) + b_{mn} N_{mn}(k_1 r) \right], \ r > r_{>} \tag{1.3}$$

де $r_{>}$ - радіус найменшої описаної сфери розсіючого об'єкта з центром на початку лабораторної системи координат.

Функції RgM_{mn} і RgN_{mn} в розкладі (1.2) є регулярними у початку координат, тоді як використання функцій M_{mn} і N_{mn} в розкладі (1.3) забезпечує виконання радіаційної умови для розсіяного поля на нескінченності.

Завдяки лінійності рівнянь Максвелла коефіцієнти розкладу розсіяного поля p_{mn} і q_{mn} повинні лінійно залежати від коефіцієнтів падаючої плоскої хвилі a_{mn} і b_{mn}. Ця лінійна залежність записується у вигляді матриці переходу, або Т-матриці:

$$E^{inc}(r) = \sum_{n=1}^{\infty} \sum_{m=-n}^{n} \left[T^{11}_{mnm'n'} a_{m'n'} + T^{12}_{mnm'n'} b_{m'n'} \right], \tag{1.4}$$

$$E^{inc}(r) = \sum_{n=1}^{\infty} \sum_{m=-n}^{n} \left[T^{11}_{mnm'n'} a_{m'n'} + T^{12}_{mnm'n'} b_{m'n'} \right], \qquad (1.5)$$

Або у матричному вигляді:

$$\begin{bmatrix} p \\ q \end{bmatrix} = T \begin{bmatrix} a \\ b \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} T^{12} \, T^{12} \\ T^{21} \, T^{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a \\ b \end{bmatrix} \qquad (1.6)$$

Формула (1.6) є основою Т-матричного методу. Його фундаментальною особливістю є те, що Т-матриця залежить тільки від фізичних та геометричних характеристик розсіюючого об'єкта (таких як показник заломлення, розмір по відношенню до довжини хвилі світла та ін.) і зовсім не залежить від напрямків поширення і поляризації падаючого та розсіяного полів. Це означає, що одна і та ж Т-матриця може бути використана при розрахунках для будь-якого напрямку розповсюдження і для будь-якої поляризації падаючої плоскої хвилі.

В загальному випадку розмір Т-матриці в (1.6) нескінченний, однак на практиці його доводиться обмежувати. Тому при комп'ютерному розрахунку на основі Т-матричного методу необхідно перевіряти збіжність результату з покроковим збільшенням розміру матриці.

Т-матричний метод є безпосереднім узагальненням стандартної теорії Мі на випадок несферичних частинок.

Застосування Т-матричного методу в лазерній діагностиці дозволяє підвищити її ефективність за рахунок високої швидкодії і точності чисельного аналізу процесів пружного розсіювання лазерних променів в біологічних об'єктах для дослідження бактерій, елементів крові, тканин ока, та інших біологічних частинок з врахуванням їх форми, мікроструктури, полідисперсності.

Література

1. Шубочкин Л.П. Светорассеивающие свойства биологических структур применительно к задачам лазерной диагностики в офтальмологии: Канд. дис.—Саратов, 2007.
2. Алексеев В.А., Тринчук Б.Ф. Лазеры на растворах органических соединений с ламповой накачкой.— М.: ЦНИИ «Электроника», 1995.
3. Борен К.у Хафмен Д. Поглощение и рассеяние света малыми частицами.— М.: Мир, 1996.