

УДК 536.5+004.42

ПРИКЛАДИ ДИСКРЕТНОГО МОДЕЛЮВАННЯ РОЗПОДІЛУ ТЕМПЕРАТУРНОГО ПОЛЯ ДЛЯ ВИРІШЕННЯ ЗАДАЧ НЕСТАЦІОНАРНОГО ТЕПЛООВОГО ПОТОКУ

Я. М. Кавин

Українська академія друкарства,
вул. Під Голоском, 19, Львів, 79020, Україна

Обґрунтовано застосування числового методу, зокрема методу кінцевих елементів, який оснований на використанні безпосередньо форми термічної інтерполяції, для дискретного моделювання розподілу температурного поля в нестационарному середовищі, зокрема в твердому об'єкті, що створює достатньо точну термографічну картину поширення теплового поля індукованого нестационарним тепловим потоком. В результаті використання методу кінцевих елементів було представлено достатньо чіткий шлях вирішення задачі поширення нестационарного теплового потоку, що дає змогу виявляти приховані дефекти, скануючи різні дифузії з термографічного зображення.

Ключові слова: метод кінцевих елементів (MES), метод кінцевих різниць (MRS), метод граничних елементів (МЕВ), інтерполяція температурного поля, дискретизаційна сітка, лінійна інтерполяція, геометрична функція, поліном екстраполяції.

Постановка проблеми. Вирішення задач поширення теплового потоку зазвичай пов'язані із складними геометричними конфігураціями. Тому модифікація методу, що дозволяє контролювати досліджуваний об'єкт під час інтенсивного електромагнітного випромінювання, індукованого в досліджуваному шарі внаслідок підведення потоку гарячого повітря є досить важливим для точного аналізу розподілу температури на поверхні. Аналіз дифузійності теплового потоку дозволяє виявляти прихований дефект, скануючи різні дифузії з термографічного зображення.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Питанням дискретного моделювання поширення температурного поля в нестационарному середовищі в контексті вирішення задач нестационарного теплового потоку займалися і займаються цілий ряд вітчизняних та зарубіжних науковців, зокрема Прохоренко С. В., Коляно Ю. М., Капінос В. М., Хрестовский Ю. Л., Adamczewski W. (Польща) [1], Vernotton P. (Франція) [2], Patankar S. (Великобританія) [3] та інші.

Мета статті — застосування числового методу, зокрема методу кінцевих елементів, використовуючи безпосередньо форми термічної інтерполяції, для дискретного моделювання розподілу температурного поля в нестационарному середовищі, зокрема в твердому об'єкті, з метою вирішення задач поширення нестационарного теплового потоку.

Виклад основного матеріалу дослідження. Нещодавно до методів вирішення технічних проблем, зокрема проблем, пов'язаних із складними геометричними конфігураціями, були додані такі методи [1]:

- Чисельний метод.
 - (MES) метод кінцевих елементів;
 - (MRS) метод кінцевих різниць;
 - (MEB) метод граничних елементів.
- Аналітичний метод.
 - Метод серії Фур'є, який найчастіше використовується досі.
- Аналоговий метод.
 - Зокрема модель Веукена, а саме Дискретна модель RC.

Методом кінцевих елементів (MES) використовується загальна форма інтерполяції температурного поля. Форма у вигляді суми продуктів геометричної функції, відома як функція форми та значення температурного поля всередині дискретизації сітки. Отримання такої сітки можливе шляхом поділу ділянки, що аналізується на непересічні елементи. У кутах та всередині них виділяються точки інтерполяції напівтемператур, так звані вузли. Кількість вузлів залежить від ступеня поліному інтерполяції. У трикутному елементі з трьох вузлів можна здійснити інтерполяційний поліном з трьома координатами

$$T(x, y) = a + bx + cy. \quad (1)$$

Це лінійна інтерполяція, яка має незалежну змінну x або y [15].

Дискретизація температурного поля з використанням трикутних елементів наведена на рис. 1.

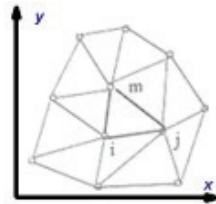


Рис. 1. Дискретизація температурного поля за допомогою трикутних елементів [1]

Температура для координат (x_i, y_i) , (x_j, y_j) , (x_m, y_m) має певно визначені значення меж, на підставі рівняння $T(x, y) = a + bx + cy$. На основі цих значень функції форми отримують у вигляді:

$$N_i = \frac{1}{2F_\Delta} (a_i + b_i x + c_i y), \quad (2)$$

де $a_i = x_j y_m - x_m y_j$, $b_i = y_j - y_m$, $c_i = x_m - x_j$, F_Δ — площа поверхні трикутних елементів. (3)

Функції форми для N_m та N_j визначаються шаблонами N_i та a_i , b_i , c_i шляхом циклічної заміни індексів i, j, m та площею трикутника F_Δ

$$F_\Delta = \frac{1}{2} \det \begin{vmatrix} 1 & x_i & y_i \\ 1 & x_j & y_j \\ 1 & x_m & y_m \end{vmatrix}. \quad (4)$$

Аналітичний метод дозволяє дуже точно рішення рівняння теплової поведінки у випадку відносно простих геометричних задач. Найбільшою перевагою є висока точність моделювання, коли рішення існує. До недоліків відносять той факт, що за відсутності рішення виникають ускладнення з геометрією, і існують труднощі з зміною нелінійних теплових параметрів матеріалів з температурою.

Висновки. Використання числового методу, зокрема методу кінцевих елементів (MES) дає можливість отримувати достатньо точну термічну картину поширення теплового поля, як по поверхні нестационарного об'єкта, так і в його поверхневих шарах індукованого нестационарним тепловим потоком. Така термографічна фотографія поверхні об'єкта є проекцією виявлених скритих поверхневих дефектів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Adamczewski W. Badania termograficzne w budownictwie. № 2. 2008.
2. Vernotton P. La nouvelle equation de la chaleur. Journ. de la chaleur. 1961.
3. Патанкар С. Численные методы решения задач теплообмена и динамики жидкости. Москва : Энергоиздат, 1984. 152 с.
4. Коляно Ю. М. Двумерная нестационарная задача теплопроводности для слоя с включением. IFZh. Volume 46. Number 6, 1984.

EXAMPLES OF DISCRETE MODELLING OF TEMPERATURE FIELD DISTRIBUTION TO SOLVE THE PROBLEM OF NON-STATIONARY THERMAL FLUX

Ya. M. Kavyn

*Ukrainian Academy of Printing,
19, Pid Holoskom St., Lviv, 79020, Ukraine*

The application of the numerical method has been grounded, in particular the finite element method, using directly the form of thermal interpolation for the discrete simulation of the distribution of the temperature field in a non-stationary medium, in particular in a solid object, which creates a rather exact thermographic picture of the propagation of the thermal field induced by a non-stationary heat flux. As a result of the use of the finite element method, a fairly precise way of solving the problem of propagation of non-stationary heat flux has been presented, which allows to detect hidden defects by scanning different diffuses from the thermographic image.

Keywords: *finite element method (MES), finite difference method (MRS), boundary element method (MEB), temperature field interpolation, discretization grid, linear interpolation, geometric function, polynomial extrapolation.*

Стаття надійшла до редакції 00.00.2018.