

УДК 536.5+004.42

ОСОБЛИВОСТІ МОДЕЛЮВАННЯ І ВРАХУВАННЯ ПРИРОДНОЇ ТА ПРИМУСОВОЇ КОНВЕКЦІЇ

Я. М. Кавин

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

Наведено і описано особливості моделювання теплових процесів з врахування вільних та вимушених конвекційних потоків, утворених різницею температур досліджуваного об'єкта, який нагрітий підведеним до нього нестационарним тепловим потоком та навколишнього середовища. На основі побудованої моделі отримано закономірності впливу конвекційних потоків на термографічну характеристику поширення теплового поля по поверхні об'єкта. Відповідно отримана і представлена проекція термовізіної картини виявлення скритих поверхневих дефектів дослідного об'єкта.

Ключові слова: конвекція, резистивний нагрів, вільні конвекційні потоки, еквівалентна провідність, ефективна теплопровідність, функція конвекції, термодинамічна оцінка, моделювання.

Постановка проблеми. Конвекційні потоки утворені різницею температур об'єкта, нагрітого нестационарним тепловим потоком, і термостата (навколишнє середовище) суттєво впливають на цілісну і реальну термічну картину поверхні досліджуваного об'єкта, відповідно для ефективного і точного виявлення скритих поверхневих дефектів досліджуваного об'єкта важливим є побудова моделі закономірностей впливу конвекційних потоків на термографічну картину поширення теплового поля по поверхні об'єкта.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Моделювання теплових процесів, зокрема теплових процесів з врахуванням вільної і вимушеної конвекції в контексті її впливу на термографічну картину займалися такі науковці, як проф. Прохоренко С., Єгоров В. та інші. Ряд наукових закладів здійснюють дослідження в цьому напрямі, зокрема це Національний університет «Львівська політехніка», «Санкт-Петербурзький державний університет інформаційних технологій, механіки і оптики» та інші. Результати досліджень публікуються у наукових вісниках навчально-наукових закладів [1], [2], [3].

Мета статті — дослідження впливу конвекційних потоків у контексті термовізіонних задач на основі побудови моделі. Особливості поширення теплового поля по поверхні досліджуваного об'єкта індукованого нестационарним тепловим потоком визначаються фізичними особливостями об'єкта, а також геометричними формами. Відповідно конвекційні потоки, утворені різницею температур об'єкта і термостата (навколишнє середовище), суттєво впливають на цілісну і реальну

термічну картину поверхні досліджуваного об'єкта. Відповідно побудована модель дає можливість ефективно і точніше виявляти скриті поверхневі дефекти.

Виклад основного матеріалу дослідження. Конвекція — явище перенесення тепла в рідинах, газах або сипких середовищах потоками самої речовини (неважливо, вимушено або мимоволі). Всякий раз, коли ми маємо нагріту або охолоджену частинку, вона піддається впливу повітря, є деяка передача тепла від частини до повітря за допомогою конвекції. Рух повітря може бути або примусовим, за допомогою вентилятора, або вільним, в результаті природних варіацій плавучості через зміну температури повітря.

На рис. 1 відображено умовний рух теплового розповсюдження, що протікає через досліджуваний об'єкт, що призводить до резистивного нагріву, який піднімає температуру (колір поверхні ділянки).

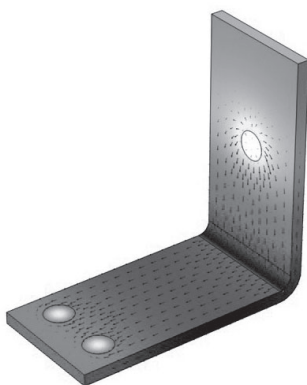


Рис. 1. Рух теплового поширення

Як тільки частина нагрівається, температура повітря, що оточує деталь, починає паралельно нагріватись. Коли повітря стає гаряче, його щільність знижується, в результаті чого гаряче повітря піднімається відносно охолоджувача навколишнього повітря. Ці вільні конвекційні потоки повітря збільшують швидкість передачі тепла від частини до навколишнього повітря. Повітряні потоки залежать від коливань температури, а також геометрії деталі і її зовнішніх границь. Конвекція може також відбуватися в будь-якому іншому середовищі, газі або рідині, таких як вода або трансформаторне масло, але ми будемо акцентувати свою увагу в основному на самому об'єкті та конвекційних потоках в повітрі.

Можна класифікувати навколишній повітряний простір в одну з двох категорій: внутрішній або зовнішній. Внутрішній означає, що існує кінцевий розміру порожнини (наприклад, розподільчої коробки) навколо частини, всередині якого є повітря, хоча вона може мати відомі повітряні входи і виходи в зовнішній простір. Також можна припустити, що теплові граничні умови на зовнішній стороні порожнини на входах і виходах відомі. Зовнішній простір означає, що об'єкт оточений нескінченно великим об'ємом повітря. В експериментальній оцінці допускається, що температура повітря, яке знаходиться далі від об'єкта, є константою.

Як досліджуваний об'єкт розглянуто заповнену повітрям прямокутну порожнину і її потік розходження теплопередачі. Якщо цю порожнину нагрівати на одній з вертикальних сторін і охолоджувати на іншій, буде регулярна циркуляція повітря. Аналогічно буде циркуляція повітря, якщо порожнину нагрівають знизу і охолоджується зверху. Ці випадки показані на рисунку 2, які були змодельовані шляхом вирішення задач як для розподілу температури, так і повітряного потоку. На рис. 2 зображено вільні конвекційні потоки в вертикально і горизонтально орієнтованих прямокутних порожнинах.

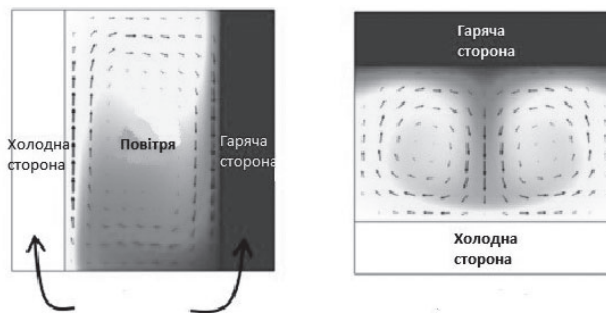


Рис. 2. Вільні конвекційні потоки у вертикально та горизонтально орієнтованих прямокутних порожнинах

Рішення для вільних конвекційних потоків має досить важливу роль у визначенні всіх можливих параметрів термодинамічної оцінки. У модулі передачі тепла є можливість використовувати еквівалентну провідність для конвекції функції. При використанні цієї функції, ефективна теплопровідність повітря збільшується на підставі кореляції для горизонтальних і вертикальних випадків прямокутної порожнини, як показано на рисунку.

Існують випадки, коли можна знехтувати вільною конвекцією і не враховувати її у поставленому експерименті. Це ті випадки, коли розміри порожнини є дуже маленькими, наприклад, у вигляді тонкої щілини між частинами або дуже тонкою трубкою, в такому разі виникає можливість того, що в'язке демпфування буде перевищувати будь-які сили плавучості. Цей баланс в'язких сил плавучості характеризується безрозмірним числом Релея. Початок вільної конвекції може бути досить різним залежно від граничних умов і геометрії. Корисне правило полягає в тому, що для розмірів менше ніж 1 мм швидше за все не може бути будь-якої вільної конвекції, але як тільки розміри порожнини стають більше ніж 1 см, то велика ймовірність того, що будуть з'являтися вільні конвекційні потоки.

Якщо ж за планом експерименту потрібно все ж таки врахувати перенесення тепла, можна моделювати перенесення тепла через ці невеликі зазори. У випадку відсутності потоку повітря, ці заповнені повітрям ділянки можуть бути просто змодельовані як тверда речовина або рідина, але без конвекційної складової. Доцільно також, щоб змодельувати повітря у вигляді твердої речовини в межах будь-якої мікро-масштабної закритої структури.

Якщо ж ці тонкі зазори дуже малі порівняно з інших розмірами аналізованої системи, то можна додатково спростити пробіли шляхом моделювання їх через тонкий прикордонний шар стан з наближенням термічно товстим типом шару. Це гранична умова являє собою стрибок температури через внутрішні кордони на основи заданої товщини і теплопровідності.

Висновки. Побудова моделі теплових процесів з врахуванням закономірностей впливу вільних і вимушених конвекційних потоків дає можливість отримати реальну термографічну картину теплового поля поверхні об'єкта та ефективно і точно виявляти скриті поверхневі дефекти.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. «Конвекція Релея-Бенара. Структура і динаміка», 1999 р.
2. Егоров В. И. Применение ЭВМ для решения задач теплопроводности : учеб. пособие. Санкт-Петербург : СПб ГУ ИТМО, 2006. 77 с.
3. Оцінювання рівня неоднорідності матеріалу шляхом аналізу теплового відгуку на вузькозонне теплове збудження / С. Прохоренко, К. Кашпор, І. Микитин, К. Мац, М. Возний, Панас А-Я. Вимірювальна техніка та метрологія. (Technika Pomiarowa oraz Metrologia). 2012. № 73. С. 41–44.

FEATURES OF MODELLING AND ACCOUNTING FOR NATURAL AND FORCED CONVECTION

Ya. M. Kavyn

³Ukrainian Academy of Printing,
19, Pid Holoskom St., Lviv, 79020, Ukraine

The features of modelling of thermal processes have been presented and described taking into account free and forced convection fluxes created by temperature difference of the studied object, which is heated by a non-stationary heat flux and environment brought to it. On the basis of the constructed model, the laws of the influence of convection flows on thermographic characteristics of the distribution of the thermal field on the object surface have been obtained. Accordingly, the projection of the thermovision pattern of detecting hidden surface defects of the experimental object has been received and presented.

Keywords: convection, resistive heating, free convection fluxes, equivalent conductivity, effective thermal conductivity, convection function, thermodynamic evaluation, modelling.

Стаття надійшла до редакції 00.00.2018.

Наукове видання

Квалілогія книги

Book Qualilogy

Випуск № 1 (31) 2017 р.

Дизайн обкладинки: О. М. Борисенко

Макетування: А. І. Шустикевич

Редактори: Н. М. Калинів, О. В. Музичка, М. А. Маринович, О. С. Чорна

Коректори: М. А. Маринович, О. В. Музичка

Верстання: А. І. Шустикевич

Свідоцтво про внесення до державного реєстру

ДК № 3050 від 11.12.2007 р.

Підписано до друку 21.04.2016 р.

Формат 70×100/16. Папір офсетний. Друк офсетний.

Тираж 100. Зам. № _____.

Віддруковано в НВЛПТ

Української академії друкарства

79008, м. Львів, пл. Митна, 1