

ЗАСТОСУВАННЯ ОБЕРНЕНИХ ЗАДАЧ ТЕРМОПРУЖНОСТІ В НЕРУЙНІВНОМУ КОНТРОЛІ

Національний аерокосмічний університет ім. М.Є. Жуковського
«Харківський авіаційний інститут»

Ефективність прийнятих рішень при конструюванні різного промислового обладнання залежить від достовірності знань про теплофізичні процеси під час його експлуатації. В основу методів моделювання та ідентифікації процесів теплообміну можуть бути покладені розв'язання обернених задач термопружності (ОЗТП). У ряді випадків визначення теплофізичних характеристик матеріалу або параметрів теплообміну методом ОЗТП є практично єдиним способом отримання необхідної інформації про об'єкт, що досліджується.

На сьогоднішній день обернені задачі, в яких причинні характеристики фізичних процесів визначаються за результатами вимірювань або за іншими наслідковими проявами, впевнено зайняли своє місце при дослідженні фізичних процесів різної природи, в тому числі і теплофізичних. Розв'язання внутрішніх ОЗТП з ідентифікації теплофізичних характеристик матеріалів є важливим етапом при побудові математичних моделей теплових процесів у більшості матеріалів, що використовуються в сучасній аерокосмічній техніці, у металургійному виробництві та в різних галузях господарської діяльності.

Обернені задачі термопружності відносяться до некоректних задач. Адамаром були введені умови коректності для операторного регулювання, що встановлює причинно-наслідковий зв'язок між характеристиками досліджуваної системи та її станом. У загальних рисах коректність по Адамару складається з того, що розв'язок існує, він єдиний, а також неперервно залежить від вихідних даних, тобто розв'язок стійкий.

Будь-яка ОЗТП, яка може бути формалізована таким чином:

$$A[C, \lambda] = T,$$

де C, λ – шукані теплоємність та коефіцієнт теплопровідності;

T – змінна стану процесу і в більшості випадків відома з теплофізичного експерименту;

A – оператор, що зв'язує C, λ з вихідними даними T .

Така задача в наслідок порушення причинно-наслідкового зв'язку є некоректно поставленою по Адамару, а значить, її розв'язок є нестійким. При вирішенні такої некоректної задачі необхідно або звести її до умовно-коректної, або використовувати один із методів регуляризації (градієнтні та варіаційні методи, зокрема, варіаційний метод А. М. Тихонова А.М.).

Крім того, в різних областях науки та техніки з метою пізнання закономірностей роботи деякого об'єкту або природного явища проводяться експерименти самого різного виду. Мета цих експериментів - виявлення основних закономірностей явища і формування на його основі деякої математичної моделі. Дуже часто на практиці зустрічаються ситуації, коли об'єкт дослідження або недоступний для спостереження, або проведення такого експерименту дороге, а відповідно, економічно недоцільно.

Прикладами можуть служити експерименти з вивчення внутрішньої будови Землі, на основі яких можна було б прогнозувати родовища корисних копалин, передбачати час і місце руйнівних землетрусів. Наприклад, глибина найглибших шахт, пробурених за допомогою найсучаснішого обладнання, не перевищує 20 км, а середній радіус Землі дорівнює 6371 км.

Таким чином, для безпосереднього спостереження доступна лише приповерхнева частина Землі. При цьому, необхідно робити висновок про властивості Землі (наприклад, про зміну її щільності з глибиною) по виміряним в ході експерименту непрямим спостереженнями. Другий приклад – це саме проблеми неруйнівного контролю виробів і конструкцій, коли потрібно виявити дефект (тріщину, порожнину) всередині працюючого об'єкта (літака, ракети, ядерного реактора, ротора турбіни і т.д.). Ще приклад - медичні дослідження, спрямовані на виявлення патологій внутрішніх органів людини. Таким способом в даний час є ультразвукове дослідження, котре широко застосовується в медицині і дозволяє досить просто виявляти патології різних органів, а також використовується в техніці. У цьому випадку об'єкт дослідження також недоступний для безпосереднього вивчення. Ми судимо про структуру та розміри органів лише на основі непрямих даних вимірювань. Всі вище перераховані дослідження відносять до так званих обернених задач, що бурхливо розвивається в даний час галузі сучасної математики і фізики (діагностика плазми). Слід сказати, що метрологічні питання невизначеності вимірювань при розв'язку обернених задач відіграють велику роль.

Крім того, для внутрішніх ОЗТП сформовано загальний універсальний підхід до їх розв'язання, в основі якого полягає ітераційний процес мінімізації функціоналу Тихонова, на кожній ітерації якого він представляється у квадратичному вигляді відносно ідентифікованих параметрів. Це досягається завдяки утриманню двох доданків у розкладі розрахункової температури та температурних напружень у ряд Тейлора відносно шуканих параметрів математичної моделі теплового процесу. Отже на кожній ітерації мінімізація квадратичного функціоналу зводиться до розв'язання лінійної системи алгебраїчних рівнянь відносно шуканих параметрів. Також можна відзначити що описаний ітераційний процес збігається до стійкого розв'язку ОЗТП.

До переваг пропонованого підходу до вирішення ОЗТП стосовно задач неруйнівного контролю можна віднести: простоту його реалізації; можливість використання експериментальної інформації як від одного, так і від кількох датчиків; застосовність його для неоднорідних середовищ; слабку чутливість до похибок вимірів; необов'язковість руйнування конструкції з метою визначення її дефекту. До недоліків слід віднести досить складний математичний апарат для вирішення оберненої задачі термопружності.