

УДК 536.532

Доц. В.О. Фединець, канд. техн. наук –
НУ "Львівська політехніка"

ВИМІРЮВАННЯ ШВИДКОЗМІННИХ ТЕМПЕРАТУР ГАЗОВИХ ПОТОКІВ ШЛЯХОМ ВВЕДЕННЯ ПОПРАВОК У ПОКАЗИ ПРИЙМАЧІВ ТЕМПЕРАТУРИ

Розглянуто метод вимірювання швидкозмінних температур газових потоків для умов, коли складно визначити умови теплообміну між потоком і приймачем температури.

Ключові слова: газовий потік, вимірювання, теплообмін, температура, приймач температури.

Assist. prof. V.O. Fedynets – NU "L'vivs'ka Politekhnik"

Measurement of quickly varying temperatures of gas streams by corrective action in indications of receivers of temperature

It is considered a method of measurement of quickly varying temperatures of gas streams for conditions when difficultly to define (determine) conditions of heat exchange between a stream and the receiver of temperature.

Keywords: a gas stream, measurement, heat exchange, temperature, the receiver of temperature.

Вступ. При вимірюванні змінної в часі температури газового потоку приймач не встигає слідкувати за зміною цієї температури внаслідок певного значення показника теплової інерції, який залежить від геометричної форми і розмірів чутливого елемента, теплоємності і густини матеріалу, з якого виготовлено чутливий елемент, а також коефіцієнта тепловіддачі між потоком і приймачем [1]. При таких вимірюваннях отримувати потрібну інформацію можливо шляхом аналізу запису самого нестационарного процесу вимірювання, здійснюючи прямий розрахунок температур середовища, або вносити поправку на запізнення у покази приймача температури.

Метод прямого розрахунку (метод аналізу запису нестационарного процесу) застосовують для випадків, коли можна визначити величину коефіцієнта тепловіддачі між газовим потоком і приймачем температури. У складних умовах вимірювання, наприклад, у пристінному шарі газового потоку, в ударній трубі, практично неможливо визначити коефіцієнт тепловіддачі між потоком і приймачем, тому метод прямого розрахунку застосувати неможливо.

Метою цієї роботи є дослідження методу вимірювання швидкозмінних температур газових потоків шляхом внесення поправок у покази інерційних приймачів температури.

Виклад основного матеріалу. Внесення поправок у покази інерційних приймачів застосовується в роботах [2, 3], де описані результати вимірювання профілю температур газового середовища з допомогою приймача, що рухається з постійною швидкістю.

Цим методом можна вимірювати розподіл температур гальмування по товщині турбулентного пристінного шару газового потоку. При ступінчастій зміні температури t_0 у пристінному шарі чутливий елемент приймача температури за проміжок часу $d\tau$ отримує деяку кількість тепла dQ :

$$dQ = \alpha F (t_0 - t_n) d\tau, \quad (1)$$

де: α – коефіцієнт тепловіддачі від газового потоку до чутливого елемента приймача; F – площа чутливого елемента; t_n – температура чутливого елемента.

Ця кількість тепла призведе до збільшення температури t_n :

$$dQ = CMdt_n, \quad (2)$$

де C і M – відповідно теплоємність матеріалу і маса чутливого елемента.

З рівнянь (1) і (2) отримаємо:

$$C \cdot M \frac{dt}{d\tau} = \alpha \cdot F \cdot (t_0 - t_n), \quad (3)$$

З врахуванням того, що

$$\frac{dt}{d\tau} = \frac{dt}{dy} \cdot \frac{dy}{d\tau} = y' \frac{dt}{dy}, \quad (4)$$

рівняння (3) можна представити

$$C \cdot M \cdot y' \cdot \frac{dt_n}{dy} = \alpha \cdot F \cdot (t_{уст} - t_n), \quad (5)$$

де: y – товщина пристінного шару; $y' = dy/d\tau$ – швидкість руху приймача у пристінному шарі; $t_{уст}$ – температура, що вимірюється приймачем в усталеному режимі; t_n – температура приймача в нестационарному режимі вимірювання.

Диференціюючи рівняння (5) щодо y і враховуючи, що коефіцієнт тепло-віддачі змінюється за товщиною пристінного шару, тобто $\alpha = \alpha(y)$, отримаємо:

$$\frac{dt_{уст}}{dy} = \left[1 - \frac{k_1}{\alpha^2} \cdot \frac{d\alpha}{dy} \right] \cdot \frac{dt_n}{dy} + \frac{k_1}{\alpha} \cdot \frac{d^2 t_n}{dy^2}, \quad (6)$$

де k_1 – постійна величина.

Припускаючи, що останній член рівняння (6) є невеликим порівняно з рештою членів, отримаємо рівняння:

$$1 - \frac{k_1}{\alpha^2} \cdot \frac{d\alpha}{dy} = \frac{\frac{dt_y}{dy}}{\frac{dt_n}{dy}}, \quad (7)$$

яке можна застосовувати для визначення поправок на запізнення.

Для вимірювання температур у дуже короткотривалих процесах, наприклад, в ударній трубі, у роботі [4] було застосовано метод, при якому температура газового потоку визначалася за зміною температур чутливого елемента приймача в часі. Як чутливий елемент застосовувалася вольфрамова нитка діаметром 0,005 мм і довжиною 3 мм. Суть методу вимірювання полягає в тому, що на початку експерименту через нитку пропускається невеликий струм (до 5 мА), необхідний для вимірювання електричного опору нитки. Після цього вольфрамова нитка вводиться в газовий потік і починає нагріватися від нього. Потім у момент часу τ_1 на нитку подають короткочасний тривалістю $\Delta\tau$ ($\Delta\tau = \tau_2 - \tau_1$) імпульс електричної потужності, який різко під-

вищує температуру нитки до значення t_2 , після чого знову реєструється зміна в часі температури нитки при невеликому струмі. Для моменту часу τ_1 рівняння теплового балансу для нитки можна записати у вигляді:

$$\frac{dt_1}{d\tau} = K \cdot (t_p - t_1) + \frac{1}{M \cdot C \cdot L} \cdot Q_B, \quad (8)$$

де: K – коефіцієнт обернено пропорційний сталій часу; t_p – рівноважна температура нитки; M, C, L – відповідно маса, питома теплоємність і довжина нитки; Q_B – втрати тепла від нитки до захисної арматури приймача.

За аналогією запишемо рівняння і для моменту часу τ_2 :

$$\frac{dt_2}{d\tau} = K \cdot (t_p - t_2) + \frac{1}{M \cdot C \cdot L} \cdot Q_B. \quad (9)$$

Результатами експериментальних досліджень автора, встановлено, що в момент часу τ_1 , останній член рівняння (8) є незначним порівняно з членом $K = (t_p - t_1)$, а в момент часу τ_2 член $\frac{1}{M \cdot C \cdot L} \cdot Q_B$ у рівнянні (9) є співвимірним з попереднім членом і ним нехтувати вже не можна. Це дає змогу визначити втрати тепла Q_B в окремому випробуванні перед експериментом шляхом подавання електричного імпульсу на нитку у вакуумі і записом зміни температур t_B нитки. Величина Q_B визначається при цьому рівнянням

$$Q_B = M \cdot C \cdot L \cdot \frac{dt_B}{d\tau}. \quad (10)$$

Підставляючи (10) для Q_B в рівняння (8) і (9) отримаємо дійсну температуру нитки

$$t_p = t_2 + (t_2 - t_1) \cdot \frac{\frac{dt_2}{d\tau} - \frac{dt_B}{d\tau}}{\frac{dt_1}{d\tau} + \frac{dt_B}{d\tau} - \frac{dt_2}{d\tau}}. \quad (11)$$

Значення $t_1, t_2, dt_1/d\tau, dt_2/d\tau$ вимірюються під час експерименту, а величина $dt_B/d\tau$ – в окремому випробуванні у вакуумі перед експериментом.

Відомі й інші методи введення поправок у покази інерційних приймачів температур [5, 6], які однак не отримали широкого розповсюдження із-за дороговизни обладнання і складності вимірювань при практичній реалізації.

Зменшення показника теплової інерції приймачів температури обмежено умовами теплообміну і вимогами їх механічної міцності. Для збільшення швидкодії приймачів для короткочасних вимірювань температури потоку можливо змінити структуру вимірювального кола шляхом введення в нього певних коректуючих пристроїв. Підбираючи параметри коректуючого пристрою можна значно збільшити швидкість вимірювального кола і розширити частотний діапазон його роботи. Тобто, введення коректуючих пристроїв призводить до таких же результатів, які можна було б отримати, використовуючи менш інерційні приймачі температур.

Коректувальні пристрої дають змогу виміряти температуру газового потоку за проміжок часу набагато менший, ніж стала часу приймача температури. Тому схеми приймачів температури з коректуючими пристроями часто використовують при необхідності короткочасних вимірювань високих температур потоку, що перевищують допустимі для приймачів.

Висновки. У роботі розглянуто методи вимірювання швидкозмінних температур газових потоків шляхом введення поправок у покази інерційних приймачів температури та описано методику проведення таких вимірювань.

Література

1. **Фединець В.О.** Дослідження динамічних характеристик термоперетворювачів для вимірювання температури газових середовищ// Вимірювальна техніка та метрологія. – 2003, вип. 63. – С. 60-62.
2. **Kilburg H.P.** A High Response Probe for Measurement of Total Temperature and Total Pressure Profiles through Turbulent Boundary Layer with Heat Transfer in Supersonic Flow// AIAA. – Paper, № 68-374. – 1978. – 9 pp.
3. **Alverman W.** Bestimmung von Temperaturprofilen mit Thermoelementen// Ztschr. für Flugwissenschaften. – IV. – V.14, № 4. – 1986. – P. 179-183.
4. **Softley E.J.** Use of a Pulse Heated Fine Wire Probe for the Measurement of Total Temperature in Shock Driven Facilities// AIAA. – Paper, № 68-393. – 1988. – 12 pp.
5. **Quamby A.** Transient Response of Wire Resistance Thermometers// RAS. – V.68, № 646. – 1984. – P. 696-698.
6. **Basic Theory** of Millisecond Response Thermocouples// Instrument Practice. – V.24, № 10. – 1970. – P. 687-691.

УДК 539.375

*Проф. М.М. Стадник, д-р техн. наук; ст. викл. І.В. Дідух –
НЛТУ України, м. Львів*

МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ РОСТУ ПОВЕРХНЕВОЇ ПІВЕЛІПТИЧНОЇ ТРІЩИНИ У ПРУЖНОПЛАСТИЧНОМУ ТІЛІ ПРИ ЦИКЛІЧНОМУ НАВАНТАЖЕННІ

Робота присвячена проблемам оцінки ресурсу елементів конструкцій, підданих дії циклічного навантаження на стадії росту поверхневої тріщини. Основу математичної моделі становить диференціальне рівняння в частинних похідних для дослідження кінетики втомних тріщин у тривимірному пружнопластичному тілі в умовах малоциклової і багатоциклової втоми. У цьому рівнянні основним параметром, що відповідає за ріст втомної тріщини є ефективний розмах розкриття її вершини. Запропонована в роботі математична модель дає змогу ефективного розрахунку елементів конструкцій з урахуванням наявності поверхневої півеліптичної тріщини.

Ключові слова: втомна тріщина, залишкова довговічність, циклічне навантаження, ефективний розмах розкриття вершини тріщини.

Prof. M.M. Stadnyk; senior teacher I.V. Didukh – NUFWT of Ukraine, L'viv

The mathematical model growth of surface semi-elliptical crack in elastoplastic body under cyclic loading

The work is devoted the problems of assessing the life time of structural elements at the stage of surface cracks propagation under cyclic loading. The mathematical model is based on a partial differential equation to determine the kinetics of fatigue cracks in a three-dimensional elastoplastic body under high-cycle or low-cycle fatigue. In this equation, the basic parameter, responsible for crack growth rate, is the effective crack tip opening displacement