

“Теплоэнергетика. Инженерия докiлля. Автоматизация”. – 1997. – № 318. 3. Розинов Г.Л., Скрупский С.В. Термокондуктометрические преобразователи состава и свойств газа с постоянной температурой терморезистора. Обзорная информация. – М., 1978.

УДК 536.532

В. Фединець

Національний університет “Львівська політехніка”,
кафедра автоматизації теплових і хімічних процесів

ЗМЕНШЕННЯ ПОХИБКИ ВІД ТЕПЛОПРОВІДНОСТІ ПІД ЧАС ВИМІРЮВАННЯ ТЕМПЕРАТУРИ ГАЗОВИХ ПОТОКІВ

© Фединець В., 2005

It is offered to a way of reduction of an error from heat conductivity which expediently and effectively to use at designing real converters of temperature of gas flows.

Постановка завдання. Під час вимірювання температури газових потоків термоперетворювачі в певний спiсiб повинні закріплюватися в деякій арматурі (трубопроводи, резервуари, тощо), температура якої в загальному випадку відрізняється від температури потоку. Внаслідок цього розподіл температур за довжиною термоперетворювача буде нерівномірним. Із-за тепловідведення по корпусу і з’єднувальних та термоелектродних провідниках температура чутливого елемента термоперетворювача відрізнятиметься від дійсної температури газового потоку.

Кількісно оцінка цього явища може бути одержана із аналізу теплового балансу за дії на чутливий елемент термоперетворювача тільки конвективного теплового потоку і відведенні тепла до місця закріплення. Вплив тепловідведення на температуру чутливого елемента можна розглядати як процес теплообміну між газовим потоком і термоперетворювачем, виконаним у вигляді однорідного стрижня, який консольно закріплюється на стінці арматури, що має певне значення температури.

Аналіз досліджень і публікацій. Розрахункова схема термоперетворювача та рівняння теплового балансу для визначення похибки за рахунок теплопровідності наведені у [1–3] та інших публікаціях. Розв’язок рівняння теплового балансу дає змогу записати похибку Δt_T , обумовлену тепловідведенням, у вигляді

$$\Delta t_m = \frac{t_0 - t_c}{chL\sqrt{\frac{4\alpha}{d\lambda}}}, \quad (1)$$

де t_0 – температура гальмування газового потоку; t_c – температура термоперетворювача в точці кріплення його до арматури; L , d – відповідно довжина і діаметр робочої ділянки термоперетворювача; α – коефіцієнт конвективної тепловіддачі від газового потоку до чутливого елемента; λ – коефіцієнт теплопровідності матеріалу чутливого елемента. Для спрощення вважається, що чутливий елемент по довжині має однакове значення λ . Необхідно враховувати також і ту обставину, що під час вимірювання температури високошвидкісних газових потоків чутливий елемент завжди буде показувати температуру, занижену на величину швидкісної похибки порівняно з температурою гальмування. Тоді співвідношення (1) можна записати в більш точному вигляді

$$\Delta t_m = \frac{t_r - t_c}{chL\sqrt{\frac{4\alpha}{d\lambda}}}, \quad (2)$$

де t_r – температура відновлення чутливого елемента.

Залежності (1) або (2) є основними при оцінці цього виду похибки в реальних конструкціях термоперетворювачів.

Мета роботи – запропонувати шляхи зменшення цього виду похибки, які доцільно і ефективно застосовувати під час розроблення реальних конструкцій термоперетворювачів для вимірювання температури газових потоків.

Виклад основного матеріалу. Аналіз залежностей (1) і (2) показує, що похибку, обумовлену теплопровідністю, можна зменшити так:

- зменшенням різниці температур $(t_0 - t_c)$ або $(t_0 - t_c)$;
- збільшенням робочої довжини термоперетворювача L ;
- зменшенням діаметра d і коефіцієнта теплопровідності λ термоперетворювача;
- збільшенням коефіцієнта конвективної тепловіддачі α .

Зменшення різниці температур $(t_0 - t_c)$ або $(t_0 - t_c)$ практично реалізувати доволі складно. Переважно цього можна досягнути тільки за рахунок електричного підігрівання арматури, до якої кріпиться термоперетворювач. Такий захід дає змогу практично повністю виключити цю складову похибки, але це пов'язано з великими експлуатаційними труднощами.

Найбільш вільно можна змінювати довжину L , а також деякою мірою і діаметр d . Як уже вказувалося [3], відношення $\frac{L}{d}$ в межах від 20 до 50 є достатнім для практично повного усунення похибки Δt_T . Але навіть за такого відношення температура чутливого елемента відрізнятиметься від температури газового потоку за рахунок впливу випромінювання і перетворення частини кінетичної енергії в теплову [6].

Коефіцієнт конвективної тепловіддачі α від газового потоку до чутливого елемента залежить від геометричних розмірів та форми термоперетворювача, а також від умов витікання газу. За результатами багатьох досліджень [4, 5], в тому числі і досліджень автора, при дозвукових швидкостях можна рекомендувати такі емпіричні залежності, що характеризують теплообмін між термоперетворювачем і потоком повітря:

- при поперечному обтіканні термоперетворювача

$$Nu = (0,44 \pm 0,06) Re^{0,5}; \quad (3)$$

- при поздовжньому обтіканні термоперетворювача

$$Nu = (0,085 \pm 0,009) Re^{0,674}, \quad (4)$$

де $Nu = \frac{\alpha \cdot d}{\lambda}$ – критерій Нуссельта (безрозмірний коефіцієнт тепловіддачі);

λ – коефіцієнт теплопровідності повітря за температури гальмування потоку;

$Re = \frac{V \cdot d}{\nu}$ – критерій Рейнольдса;

V – швидкість газового потоку;

ν – коефіцієнт кінематичної в'язкості за температури гальмування потоку.

За залежностями (3) і (4) можна розрахувати значення коефіцієнта тепловіддачі в температурному діапазоні від 20 до 1650 °С для дозвукових швидкостей газового потоку. Ці дані можуть бути використані під час розроблення реальних конструкцій термоперетворювачів з камерами гальмування під задані замовником технологічні умови.

Більш широка інформація з питань тепловіддачі термоперетворювачів циліндричної форми, що омиваються поперечно, міститься в [7], де експериментально отримані значення Nu були апроксимовані такими емпіричними залежностями:

$$Nu_d(Re_d, M) = Nu_d(Re_d, \infty) \cdot \Phi(Re_d, M), \quad (5)$$

де $M = \frac{V}{a}$ – число Маха;

a – швидкість звуку в газовому середовищі;

$$Nu_d(Re_d, M) = Re_d^n \left[0,14 + 0,2302 \frac{Re_d^{0,7114}}{15,44 + Re_d^{0,784}} + \frac{0,01569}{2,571 + Re_d^{0,7378}} \cdot \frac{19}{15 + Re_d^3} \right];$$

$$n = 1 - \frac{1}{2} \cdot \frac{Re_d^{0,6713}}{2,571 + Re_d^{0,6713}};$$

$$\Phi(Re_d, M) = 1 + \psi \varpi Y;$$

$$\psi = \frac{0,6309}{M} + 0,5701 \left[\left(\frac{M^{1,222}}{1 + M^{1,222}} \right)^{1,569} - 1 \right];$$

$$\varpi = 1 + \left(0,3 - \frac{0,065}{M^{1,670}} \right) \cdot \left(\frac{Re_d}{4 + Re_d} \right);$$

$$Y = 1,834 - 1,634 \frac{Re_d^{1,109}}{2,765 + Re_d^{1,109}}.$$

Критерії Nu_d і Re_d обчислюються за діаметром термоперетворювача, що омивається газовим потоком.

Із залежностей (3) і (4) зрозуміло, що величину коефіцієнта тепловіддачі можна регулювати, змінюючи діаметр термоперетворювача та швидкість потоку всередині камери гальмування. Але така можливість є обмеженою, оскільки діаметр термоперетворювача не може бути дуже малим із-за вимог до його механічної міцності. Збільшення швидкості потоку в камері гальмування призведе до збільшення швидкісної похибки, тому тут також є деяка межа. При зменшенні інтенсивності конвективного теплообміну необхідно збільшувати довжину робочої частини термоперетворювача.

Вибір термометричних матеріалів повинен визначатися найбільшим значенням вимірюваної температури і необхідною величиною інформаційного сигналу.

Очевидно, що для зменшення похибки Δt_T доцільно застосовувати конструктивні та термометричні матеріали з малою теплопровідністю. Це дає можливість виготовити досить компактним термоперетворювач будь-якої конструкції. Особливо це стосується термоперетворювачів з поздовжнім обтіканням газовим потоком, оскільки для них складніше забезпечити достатню глибину занурення, яка гарантувала б мінімальні значення похибки від тепловідведення.

Висновки. Під час конструювання термоперетворювачів для вимірювання температури газових потоків необхідно повністю використати усі можливості зменшення похибки, обумовленої теплопровідністю – допустимою мірою зменшити діаметр чутливого елемента і термоперетворювача, вибрати конструктивні і термометричні матеріали з малим значенням коефіцієнта теплопровідності, підтримувати найбільшу допустиму швидкість потоку в камері гальмування, а

потім вибором відповідної глибини занурення звести значення похибки до допустимої величини. Необхідну глибину занурення можна визначити за залежностями (1) або (2).

1. Ярышев Н.А. Теоретические основы измерения нестационарных температур. – Л., 1987.
2. Гордов А.Н. Основы пирометрии. – М., 1971. 3. Фединець В.О. Вплив конструкції і способу монтажу первинних термоперетворювачів на похибку вимірювання температури енергоносіїв в трубопроводах //Транспортування, контроль якості та облік енергоносіїв. –Львів,1998. 4. Dewey C. F. Wire Measurements in Low Reynolds Number Hypersonic Flows // ARS J.-V.31. – №12. – 1961. – P. 1709–1718. 5. Моффат Р.Д. Измерение температуры газа // Измерение нестационарных температур и тепловых потоков. – М.,1966. 6. Фединець В. Вплив захисних екранів термоперетворювача на похибку від випромінювання при вимірюванні температури газових потоків //Вісн. НУ “Львівська політехніка”. – 2003. – №476. – С. 67–72. 7. Dewey C. F. A Corelation of Convective Heat Transfer and Recovery Temperature Data for Cylinders in Compressible Flow // Internat. J. Heat and Kасс Transfer. – V.8. – №2. – 1965. – P. 245–252.

УДК 533.2.7

З. Теплюх, І. Ділай

Національний університет “Львівська політехніка”,
кафедра автоматизації теплових та хімічних процесів

НАБЛИЖЕННЯ ТЕМПЕРАТУРНОЇ ЗАЛЕЖНОСТІ В'ЯЗКОСТІ ПОШИРЕНИХ ГАЗІВ ДЛЯ УМОВ ЛАБОРАТОРНИХ ПРИМІЩЕНЬ

© Теплюх З., Ділай І., 2005

In the article the known data of temperature dependence for viscosity of prevalent gases in range 0...60 °C are analysed and approcsimation coefficients of this dependences are presented.

Постановка проблеми. Побудова сучасних вимірювальних приладів для дослідження газів, зокрема для вимірювання теплофізичних властивостей, витрати і складу газів, вимагає розрахунку і моделювання їх газових трактів, в яких зустрічаються втрати тиску, пов'язані із в'язкісним тертям [1–7]. При цьому необхідно знати коефіцієнт динамічної в'язкості (далі просто в'язкість) газу для температури і тиску в приладі. Вказані прилади, як правило, працюють в лабораторних умовах і тому температура газу в них знаходиться в межах 0–60 °C (незалежно від того, чи її стабілізують, чи ні). Газ у приладах знаходиться під тиском, як правило, відносно близьким до атмосферного, коли вплив тиску на в'язкість є незначним (в межах похибки значення в'язкості), в той час, як вплив температури є доволі сильним, – відносна зміна в'язкості становить до 0,5 %/K. Отже, для вказаних умов доцільною є апроксимація відомих значень в'язкості лише за температурою.

Аналіз останніх досліджень. Сьогодні нагромаджено великий експериментальний матеріал про в'язкість різних газів, а також встановлено низку теоретичних (напівемпіричних) закономірностей, що дає змогу визначати в'язкість газу залежно від температури і тиску [6, 8–14]. Надійшлишіми вважають експериментальні дані, які для найбільш поширених газів за тисків і температур, близьких до лабораторних, одержані з граничною похибкою порядку 1 % [8, 10]. Проте для конкретних умов в'язкість доводиться знаходити з різних джерел, де наведені дані часто є недостатніми (інтерполяція вносить додаткову похибку) чи навіть різними, або розраховувати