

МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ГАЗОДИНАМІЧНОЇ ПІДСИСТЕМИ ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ ТЕМПЕРАТУРИ ГАЗОВИХ ПОТОКІВ

Ї Фединець Василь, 2008

Національний університет "Львівська політехніка", кафедра автоматизації теплових та хімічних процесів, Львів,
вул. С. Бандери, 12, 79013, Україна

*Запропоновано перетворення інформативного сигналу у перетворювачах температури газових потоків
подавати у вигляді елементарних ланок зі своїми математичними моделями. Розглянуто особливості
математичної моделі гідродинамічної підсистеми.*

*Предложено преобразование информативного сигнала в преобразователях температуры газовых потоков
представляет в виде элементарных звеньев со своими математическими моделями Рассмотрено
особенности математической модели гидродинамической подсистемы.*

*Process of transformation of an informative signal in converters of temperature of gas streams is offered to represent as
elementary parts with the mathematical models. It is considered features of mathematical model of a hydrodynamical
subsystem.*

1. Вступ. Під час дослідження температурного режиму газових потоків завдання експериментатора зводиться до точного вимірювання статичної температури T або температури гальмування T_0 . Знання однієї з них достатнє для визначення іншої за умови, що відома швидкість потоку. У технічному плані завдання експериментального визначення температури гальмування є значно простішим, ніж визначення статичної температури. Тому основна маса теоретичних та експериментальних робіт стосується створення перетворювачів температури (ПТ), призначених для вимірювання температури гальмування газового потоку [1, 2]. Вирішення завдання точного вимірювання температури газового потоку, що рухається з великою швидкістю, визначається створенням раціональної конструкції ПТ гальмування. Їх можна подати у вигляді насадки, у внутрішньому каналі якої розміщено термометричний чутливий елемент (рис.1).

Дослідження роботи таких ПТ дають можливість аналітично визначити основні газодинамічні процеси, що в них відбуваються, і тим самим знайти залежність математичної моделі від параметрів потоку, особливостей конструкції і основних конструктивних параметрів.

2. Постановка задачі. Математична модель ПТ газових потоків характеризує перетворення у ньому інформативного сигналу з урахуванням спотворень,

завад і збурювальних факторів. Для зручності аналізу перетворень пропонується подавати ПТ у вигляді окремих елементарних ланок зі своїми математичними моделями. За елементарну ланку доцільно приймати сукупність способів і засобів перетворення, що об'єднуються за характерними ознаками.

Для ПТ газових потоків еквівалентна схема перетворення може бути подана у вигляді трьох послідовно з'єднаних ланок (систем): газодинамічної, теплової та електричної (рис. 2). Позначення на рис. 2: $Q_{TC}(z_{TC})$, $Q_{TC}(z_{TC})$, $Q_{EC}(z_{EC})$ – оператор перетворення (математична модель) відповідно газодинамічної, теплової та електричної елементарної ланки, $y'_{PT}(t)$, $y_{PT}(t)$ – вихідний інформативний сигнал ПТ до і після впливу узагальненої завади $x(t)$; z – множина впливних факторів.

Газодинамічна підсистема перетворює термодинамічну температуру $T(t)$ газового потоку на вході ПТ на температуру гальмування $T_{PT}(t)$ на вході у термочутливий елемент. Теплова підсистема перетворює цю температуру на рівноважну температуру $T_{PPT}(t)$ термочутливого елемента, що виражає його ентальпію. Електрична підсистема перетворює температуру $T_{PPT}(t)$ на вихідний електричний сигнал $y_{PT}(t)$.

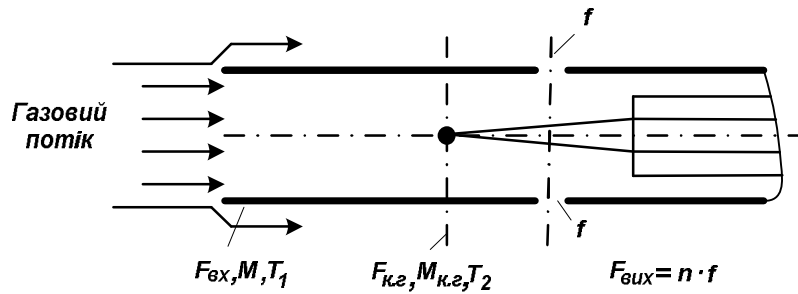


Рис. 1. Схема обтікання ПТ газовим потоком

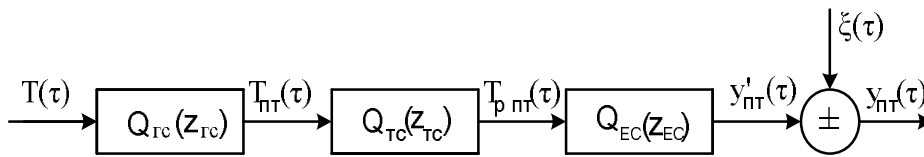


Рис. 2. Еквівалентна схема перетворення ПТ газового потоку

3. Виклад основного матеріалу. Дослідження газодинамічних характеристик ПТ гальмування здійснювалися для схеми усталеного адиабатного витікання газового потоку каналом довільного перерізу за відсутності втрат [3]. Диференційне рівняння руху потоку каналом довільного перерізу для таких умов можна подати у вигляді

$$\frac{dM^2}{2 + (k-1)M^2} - \frac{dM^2}{[2 + (k-1)M^2]M^2} = \frac{dF}{F}, \quad (1)$$

де M – число Маха (критерій подібності); k – показник адиабати газового потоку; F – площа поперечного перерізу каналу.

Розв'язання диференційного рівняння (1) буде мати вигляд:

$$\frac{\left(1 + \frac{k-1}{2}M^2\right)^{\frac{k+1}{2(k-1)}}}{F_{вх}M} = \frac{\left(1 + \frac{k-1}{2}M_{к.з}^2\right)^{\frac{k+1}{2(k-1)}}}{F_{к.з}M_{к.з}}, \quad (2)$$

де $F_{вх}$ і $F_{к.з}$ – відповідно площа входу у камеру гальмування і площа камери гальмування в місці розміщення чутливого елемента ПТ; M і $M_{к.з}$ – відповідно числа Маха у цих перерізах.

Очевидно, що залежно від величини відношення $F_{вх}/F_{к.з}$ газовий потік в камері гальмування буде змінювати свою швидкість порівняно з набігаючим потоком на вході:

– при $F_{вх}/F_{к.з} < 1$ і $V/V_{к.з} > 1$ потік в ПТ буде загальмовуватися;

– при $F_{вх}/F_{к.з} > 1$ і $V/V_{к.з} < 1$ потік в ПТ буде прискорюватися;

– при $F_{вх}/F_{к.з} = 1$ і $V/V_{к.з} = 1$ потік в ПТ не змінюється порівняно з набігаючим потоком.

(V і $V_{к.з}$ – відповідно швидкість потоку на вході ПТ і в камері гальмування).

Для визначення температури гальмування газовий потік, проходячи через камеру гальмування, повинен штучно загальмовуватися завдяки тому, що площа внутрішнього перерізу камери гальмування $F_{к.з}$ має бути більшою від сумарної площі вихідних отворів $F_{вих} = n \cdot f$, де n – кількість вихідних отворів, а f – площа одного отвору (рис.1).

Визначальною характеристикою газодинамічної підсистеми є коефіцієнт відновлення r ПТ і оптимізація газодинамічної підсистеми повинна включати в себе визначення способів і засобів, що забезпечують постійність коефіцієнта відновлення за наявності завад і прийнятих обмежень.

Оскільки приймач температури складається з камери гальмування і чутливого елемента, то для такого приймача необхідно розглядати три коефіцієнти відновлення – ПТ r , камери гальмування $r_{к.з}$, і чутливого елемента $r_{че}$. Коефіцієнт відновлення r визначається відомою залежністю [2]:

$$r = \frac{T_{р ПТ} - T}{T_0 - T}. \quad (3)$$

Якщо у камері гальмування за відсутності чутливого елемента встановиться температура $T_{к.з}$, то її коефіцієнт відновлення, за аналогією з (3), визначиться залежністю

$$r_{к.з} = \frac{T_{к.з} - T}{T_0 - T}. \quad (4)$$

Коефіцієнт відновлення камери гальмування $r_{к.з}$ характеризує ступінь гальмування газового потоку в камері гальмування і його можна також виразити через швидкість потоку, що набігає V і швидкість потоку в камері гальмування $V_{к.з}$:

$$r_{к.з} = 1 - \left(\frac{V_{к.з}}{V} \right)^2 = 1 - \left(\frac{M_{к.з}}{M} \right)^2 \frac{1 + \frac{k-1}{2} M^2}{1 + \frac{k-1}{2} M_{к.з}^2}. \quad (5)$$

Якщо за температури $T_{к.з}$ газового потоку в камері гальмування ПТ має температуру $T_{р ПТ}$, то коефіцієнт відновлення чутливого елемента визначається залежністю

$$r_{че} = \frac{T_{р ПТ} - T_{к.з}}{T_0 - T_{к.з}}. \quad (6)$$

Із залежностей (3), (4) і (6) можна визначити коефіцієнт відновлення ПТ залежно від коефіцієнтів відновлення камери гальмування і чутливого елемента:

$$r = r_{к.з} - r_{к.з} r_{че} + r_{че} = r_{к.з} \left(1 - r_{че} + \frac{r_{че}}{r_{к.з}} \right). \quad (7)$$

А з урахуванням (5) і (7) вираз для коефіцієнта відновлення ПТ можна подати у вигляді

$$r = 1 - (1 - r_{че}) \left(\frac{V_{к.з}}{V} \right)^2. \quad (8)$$

Аналіз (7) і (8) показує, що для визначення коефіцієнта відновлення r ПТ необхідно розглянути вплив на нього як коефіцієнта відновлення камери гальмування, так і чутливого елемента.

Використовуючи залежності (2), (5) і (7), а також відомі співвідношення газової динаміки [4], можна встановити теоретичну залежність коефіцієнта гальмування ПТ з камерою гальмування від числа M газового потоку, що набігає, і відношення площ вихідних отворів nf до площі вхідного отвору камери гальмування $F_{вх}$. При обтіканні ПТ дозвуковим потоком залежність буде мати такий вигляд:

$$\left(\frac{nf}{F_{вх}} \right)^{k-1} \left(\frac{1 - r_{че}}{1 - r} \right)^{\frac{k-1}{2}} - 1 = \frac{k-1}{2} M^2 \frac{r - r_{че}}{1 - r_{че}}. \quad (9)$$

Цей вираз являє собою математичну модель газодинамічної підсистеми і визначає взаємозв'язок між коефіцієнтом відновлення ПТ, параметрами потоку і конструктивними особливостями ПТ.

3. Висновки. Газодинамічна підсистема ПТ характеризується так званою швидкісною складовою похибки вимірювання температури газового потоку. Аналіз математичної моделі показує, що при конструюванні реального перетворювача температури найефективнішим засобом зменшення швидкісної складової похибки є штучне зменшення швидкості обтікання чутливого елемента ПТ порівняно зі швидкістю потоку, що набігає. В експериментальній практиці для цього найбільше поширення отримали ПТ з камерами гальмування у вигляді циліндричної трубки з вентиляційними отворами в її стінці.

Зауважимо також, що при конструюванні ПТ відношення площ $nf/F_{вх}$ необхідно вибирати так, щоб коефіцієнт відновлення r практично не змінювався від числа M . Із зменшенням відношення площ $nf/F_{вх}$ коефіцієнт відновлення ПТ з камерою гальмування наближається до одиниці, а залежність його від числа M зменшується. При відношенні $nf/F_{вх} \leq 0,3$ зміна коефіцієнта відновлення ПТ від зміни числа M в діапазоні від 0 до 2 не перевищує $\approx 1,5\%$. З іншого боку, при дуже малій величині $nf/F_{вх}$ зростає показник теплової інерції ПТ і збільшуються теплові втрати, що викликають за невеликих швидкостей зменшення коефіцієнта відновлення r .

1. Кутателадзе С. С. *Основы теории теплообмена*. – Новосибирск: Наука, Сибирск. отд-ние, 1970. – 660 с. 2. Лойцянский Л. Г. *Механика жидкости и газа*. – М.: Наука, 1973. – 904 с. 3. Moffat R. J. *Gas Temperature Measurement* // В зб. "Temperature, Its Measurement and Control in Science and Industry", Vol. III, Part 2. -N.Y.: Reinhold Publ. corp, 1962. 4. Гухман А. А., Илюхин Н. В. *Основы учения о теплообмене при течении газа с большой скоростью*. – М.: Машигиз, 1951. – 226 с.