



УКРАЇНА

(19) UA

(11) 76157

(13) C2

(51) МПК (2006)
G01P 5/10МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ
І НАУКИ УКРАЇНИДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІОПИС
ДО ПАТЕНТУ НА ВИНАХІД

(54) СПОСІБ ВИМІРЮВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ПОТОКІВ РІДИН І ГАЗІВ

1

2

(21) 2004010144

(22) 09.01.2004

(24) 17.07.2006

(46) 17.07.2006, Бюл. №7, 2006р.

(72) Гайський Віталій Олександрович, Гайський Павло Віталійович

(73) МОРСЬКИЙ ГІДРОФІЗИЧНИЙ ІНСТИТУТ НАЦІОНАЛЬНОЇ АКАДЕМІЇ НАУК УКРАЇНИ

(56) Авторське свідоцтво СРСР №1645903

(57) Спосіб вимірювання параметрів потоків рідин і газів, що полягає в установці локально в потоку декількох ідентичних терморезисторних елементів з підігріванням - охолодженням керованими джерелами різної змінної потужності, що контролюються, вимірюванні опорів терморезисторних елементів у часі, який **відрізняється** тим, що використовують три терморезисторних елементи, визначають миттєві значення температури терморезисторних елементів і їх похідних, визначають миттєве значення параметра потоку, наприклад, швидкості за градуваною характеристикою параметра $v(t) = \varphi(k(t))$ від інтегрального коефіцієнта теплообміну $\alpha(t)$ терморезисторного елемента з середовищем і теплоємність терморезисторного елемента, які обчислюють по формулах:

$$\alpha(t) = \frac{P_1(t) \cdot \theta_1'(t) \cdot P_2(t) \cdot \theta_2'(t) \cdot P_3(t) \cdot \theta_3'(t)}{P_1(t) \cdot \theta_1(t) \cdot P_2(t) \cdot \theta_2(t) \cdot P_3(t) \cdot \theta_3(t)},$$

$$m(t) = \frac{P_1(t) \cdot \theta_1(t) \cdot P_2(t) \cdot \theta_2(t) \cdot P_3(t) \cdot \theta_3(t)}{P_1(t) \cdot \theta_1'(t) \cdot P_2(t) \cdot \theta_2'(t) \cdot P_3(t) \cdot \theta_3'(t)},$$

де $\theta_1(t)$, $\theta_2(t)$ і $\theta_3(t)$ - миттєві температури першого, другого і третього терморезисторних елементів;

$\theta_1'(t)$, $\theta_2'(t)$ і $\theta_3'(t)$ - миттєві похідні температур першого, другого і третього терморезисторних елементів;

$P_1(t)$, $P_2(t)$ і $P_3(t)$ - миттєві потужності нагріву першого, другого і третього терморезисторних елементів,

температуру потоку $\theta_c(t)$ визначають за формулою:

$$\theta_c(t) = \frac{1}{3} \sum_{i=1}^3 \left[\theta_i(t) \cdot \frac{m(t) \cdot \theta_i'(t) + P_i(t)}{\alpha(t)} \right],$$

де m - маса датчика;

c - питома теплоємність матеріалу датчика;

S - площа поверхні теплообміну з середовищем.

Винахід відноситься до вимірювальної техніки і може бути використаний для вимірювання фізичних параметрів і швидкості потоків рідин і газів.

Відомі способи вимірювання параметрів потоку термоанемометрами, що містять два датчики температури з безперервним, переривистим або гармонічним підігріванням одного або двох датчиків і працюючих в розімкнених системах з вихідним сигналом різниці температур датчиків при фіксованій різниці потужностей нагріву або в замкнених системах з вихідним сигналом різниці потужностей нагріву при фіксованій різниці температур датчиків [1].

Загальним недоліком відомих способів вимірювання параметрів потоків є залежність результату вимірювання від конструктивних параметрів

датчиків, які можуть змінюватися в процесі експлуатації, що приводить до зниження точності.

Найбільш близьким до способу (прототипом), що пропонується є спосіб вимірювання параметрів потоків рідин і газів по сталій часу термочутливого елемента, що складається з двох половинок, яку визначають шляхом поперемінного пропущення імпульсів струму нагріву і реєстрації за допомогою вимірника інтервалів часу відрізків часу від початку нагріву і охолодження до моменту рівності величин опорів двох половинок термочутливого елемента [2]. Спосіб має обмеження на використання тільки лінійних датчиків.

У цьому способі передбачається, що часи входження в "регулярний режим" нагріву і охолодження і сталі часу при нагріві датчика зсередини

(13) C2

(11) 76157

(19) UA

ни струмом опиту і охолодження потоком ззовні рівні. Це досить грубе наближення і приводить до істотних погіршень [3].

Передбачається також, що конструктивні параметри датчика, його маса і теплоємність не змінюються в процесі експлуатації. Якщо ці параметри будуть змінюватися через корозію та обростання датчиків, то з'явиться додаткова погіршеність вимірювання.

Швидкодіяння цього способу обмежене часом перехідного процесу від початку нагріву до рівності опорів половинок датчика.

Таким чином, відомий спосіб має низьку точність і обмежене швидкодіяння.

Спосіб, що пропонується, має загальне з прототипом те, що він передбачає використання декількох ідентичних датчиків (або ідентичних частин одного датчика) і різних режимів нагріву.

У основу винаходу поставлене рішення задачі вимірювання параметрів потоків рідини і газів, при якому за рахунок визначення миттєвих значень коефіцієнта теплообміну і, отже, параметра потоку, що вимірюється, а також температури потоку і конструктивного параметра датчиків, забезпечується технічний результат винаходу - підвищення точності вимірювання і підвищення швидкодіяння способу.

Поставлена задача вирішується тим, що в способі вимірювання параметрів потоків рідин і газів, який включає устаткування локально в потоку декількох ідентичних терморезисторних елементів з підігріванням - охолодженням керованими джерелами різної змінної потужності, що контролюються, вимірювання опорів терморезисторних елементів у часі, згідно з винаходом використовують три терморезисторні елементи, визначають миттєве значення температури терморезисторних елементів і їх похідних, визначають миттєве значення параметра потоку, наприклад, швидкості за градуною характеристикою параметра $v(t) = \varphi[\alpha(t)S]$ від інтегрального коефіцієнта теплообміну $\alpha(t)S$ терморезисторного елемента зі середовищем і теплоємність терморезисторного елемента, які обчислюють по формулах

$$\alpha(t)S = \frac{[P_3(t) - P_1(t)] \cdot [\dot{\theta}_2(t) - \dot{\theta}_1(t)] - [P_2(t) - P_1(t)] \cdot [\dot{\theta}_3(t) - \dot{\theta}_1(t)]}{[\dot{\theta}_3(t) - \dot{\theta}_1(t)] \cdot [\dot{\theta}_2(t) - \dot{\theta}_1(t)] - [\dot{\theta}_2(t) - \dot{\theta}_1(t)] \cdot [\dot{\theta}_3(t) - \dot{\theta}_1(t)]},$$

$$mc = \frac{[P_3(t) - P_1(t)] \cdot [\dot{\theta}_2(t) - \dot{\theta}_1(t)] - [P_2(t) - P_1(t)] \cdot [\dot{\theta}_3(t) - \dot{\theta}_1(t)]}{[\dot{\theta}_3(t) - \dot{\theta}_1(t)] \cdot [\dot{\theta}_2(t) - \dot{\theta}_1(t)] - [\dot{\theta}_2(t) - \dot{\theta}_1(t)] \cdot [\dot{\theta}_3(t) - \dot{\theta}_1(t)]},$$

де $\theta_1(t)$, $\theta_2(t)$ і $\theta_3(t)$ - миттєві температури першого, другого і третього терморезисторних елементів;

$\dot{\theta}_1(t)$, $\dot{\theta}_2(t)$ і $\dot{\theta}_3(t)$ - миттєві похідні температур першого, другого і третього терморезисторних елементів;

$P_1(t)$, $P_2(t)$ і $P_3(t)$ - миттєві потужності нагріву першого, другого і третього терморезисторних елементів,

температуру потоку визначають по формулі

$$\theta_C(t) = \frac{1}{3} \cdot \sum_{i=1}^3 \left[\theta_i(t) - \frac{mc \cdot \dot{\theta}_i(t) + P_i(t)}{\alpha(t)S} \right].$$

Для пояснення суті способу, що пропонується,

розглянемо структурну схему пристрою, який його реалізовує. На кресленні показаний приклад такої структурної схеми.

Пристрій містить три ідентичні термочутливі елементи - резисторні датчики температури 1_1 , 1_2 , 1_3 з нагрівально-охолоджувальними елементами 2_1 , 2_2 , 2_3 . Виходи датчиків подані на входи перетворювачів опорів в цифру 3_1 , 3_2 , 3_3 . Входи нагрівально-охолоджувальних елементів сполучені з джерелами керованої потужності нагріву-охолодження 4_1 , 4_2 , 4_3 . Входи-виходи блоків 3_1 , 3_2 , 3_3 і 4_1 , 4_2 , 4_3 сполучені з процесором 5.

Як терморезисторні датчики можуть бути використані мідні, платинові та нікелеві термометри опору, термометри з непрямим підігріванням і інші термочутливі елементи, у яких температура змінює опір датчика по відомій функції перетворення, а за градуною характеристикою і вимірюванням миттєвим опором датчика визначити його середньоб'ємну миттєву температуру. Це можуть треті частини одного розподіленого ниткоподібного датчика або три окремі датчики.

Як вбудовані нагрівальні елементи можуть використовуватися резистори з сплавів з малим температурним коефіцієнтом (манганин, константан) або високотемпературні (ніхром, вольфрам). Як нагрівники-охолоджувачі можливе використання сплавів термопар, що живляться різнополярним струмом для забезпечення режимів нагріву або охолодження.

Для вимірювання опорів датчиків можливе застосування відомих схем включення перетворювачів аналог-цифра, бажано з високим швидкодіянням.

Джерела керованої потужності нагріву-охолодження виконуються як цифрово-аналогові перетворювачі коду в напругу або струм з одночасним контролем (аналогово-цифровим перетворенням) струму або напруги на навантаженні (нагрівнику-охолоджувачі).

Точність і швидкодіяння всіх аналогово-цифрових і цифрово-аналогових перетворювачів в блоках 3_i і 4_i повинна бути узгоджена. На процесор 5 покладається задача реалізації алгоритму вимірювання. Блоки 3_i і 4_i і процесор можуть бути реалізовані на одному або декількох мікроконверторах з об'ємом, наприклад, типу AduC824.

Спосіб вимірювання параметрів потоку здійснюють таким чином. У потоку локально розміщують три ідентичні датчики температури 1_1 , 1_2 , 1_3 з нагрівниками-охолоджувачами 2_1 , 2_2 , 2_3 і забезпечують різну змінну потужність нагріву-охолодження, що контролюється $P_1(t)$, $P_2(t)$ і $P_3(t)$, вимірюють миттєві значення опорів $R_1(t)$, $R_2(t)$ і $R_3(t)$ датчиків, визначають миттєві значення температур датчиків $\theta_1(t)$, $\theta_2(t)$ і $\theta_3(t)$ за відомими градуними характеристиками $\theta_i(R_i)$ або за аналітичними залежностями, наприклад, для мідних датчиків з лінійною характеристикою по формулі

$$\theta_i(t) = \frac{R_i(t) - R_{i0}\beta}{R_{i0}}, \quad (1)$$

де $i = 1, 2, 3$; R_{i0} - відомий опір i -го датчика при

нульовій температурі, β - температурний коефіцієнт чутливості.

Використовуємо рівняння теплового балансу для підігріваного (охолоджуваного) потужністю $P(t)$ i -го датчика, вміщеного в середовище з температурою $\theta_c(t)$

$$[\theta_i(t) - \theta_c(t)]\alpha_i(t)S + mc\dot{\theta}_i(t) = P_i(t), \quad (2)$$

де відомі величини $\theta_i(t)$, $P_i(t)$, що обчислюється з ряду відліків $\theta_i(t)$, величина $\dot{\theta}_i(t)$, невідома конструктивна величина, що повільно змінюється mc невідомі $\theta_i(t)$ і $\alpha_i(t)$;

$\theta_i(t)$ і $\dot{\theta}_i(t)$ - миттєві температура датчика і її похідна;

$\alpha_i(t)$ - миттєвий коефіцієнт теплообміну;

mc - теплоємність датчика;

m - маса датчика;

c - питома теплоємність матеріалу датчика;

S - площа поверхні теплообміну датчика зі середовищем;

$i = \overline{1,3}$.

Рівняння 2 справедливе для датчика, який може вважатися зосередженим в просторі і інерційною ланкою 1-го порядку у часі, працюючою в "регулярному режимі" для робочого діапазону частот мінливості температури середовища $\theta_c(t)$ і коефіцієнта теплообміну $\alpha_i(t)$ при періодичній зміні $P_i(t)$.

Відомо [3], що коефіцієнт теплообміну α складним образом залежить від швидкості потоку, теплопровідності, питомої теплоємності, щільності і кінематичної в'язкості середовища. Ця залежність встановлюється емпірично для конкретної рідини або газу із задовільною точністю.

У цьому випадку для ідентичних датчиків в ідентичних умовах середовища і при різних потужностях нагріву охолоджування коефіцієнти теплообміну можна прийняти рівними, тобто

$$\alpha_1(t) = \alpha_2(t) = \alpha_3(t) = \alpha(t), \quad (3)$$

З рівняння 2 можемо записати для трьох датчиків

$$\begin{aligned} [\theta_1(t) - \theta_c(t)]\alpha(t)S - mc \cdot \dot{\theta}_1(t) &= P_1(t), \\ [\theta_2(t) - \theta_c(t)]\alpha(t)S - mc \cdot \dot{\theta}_2(t) &= P_2(t), \\ [\theta_3(t) - \theta_c(t)]\alpha(t)S - mc \cdot \dot{\theta}_3(t) &= P_3(t). \end{aligned} \quad (4)$$

Віднімаючи перше рівняння з другого і третього отримаємо рівняння без температури середовища $\theta_c(t)$

$$\begin{aligned} [\theta_2(t) - \theta_1(t)]\alpha(t)S - mc \cdot [\dot{\theta}_2(t) - \dot{\theta}_1(t)] &= P_2(t) - P_1(t) \\ [\theta_3(t) - \theta_1(t)]\alpha(t)S - mc \cdot [\dot{\theta}_3(t) - \dot{\theta}_1(t)] &= P_3(t) - P_1(t), \end{aligned} \quad (5)$$

Рішення цих рівнянь відносно невідомих $\alpha_i(t)$ і mc мають вигляд

$$\alpha(t)S = \frac{[P_3(t) - P_1(t)] \cdot [\dot{\theta}_2(t) - \dot{\theta}_1(t)] - [P_2(t) - P_1(t)] \cdot [\dot{\theta}_3(t) - \dot{\theta}_1(t)]}{[\theta_3(t) - \theta_1(t)] \cdot [\dot{\theta}_2(t) - \dot{\theta}_1(t)] - [\theta_2(t) - \theta_1(t)] \cdot [\dot{\theta}_3(t) - \dot{\theta}_1(t)]}, \quad (6)$$

$$mc = \frac{[P_3(t) - P_1(t)] \cdot [\dot{\theta}_2(t) - \dot{\theta}_1(t)] - [P_2(t) - P_1(t)] \cdot [\dot{\theta}_3(t) - \dot{\theta}_1(t)]}{[\theta_3(t) - \theta_1(t)] \cdot [\dot{\theta}_2(t) - \dot{\theta}_1(t)] - [\theta_2(t) - \theta_1(t)] \cdot [\dot{\theta}_3(t) - \dot{\theta}_1(t)]}, \quad (7)$$

Значення $\alpha(t)S$ далі використовується для визначення мінливості якого-небудь з параметрів потоку, при постійності інших, з градуальною характеристикою $\varphi[\alpha(t)S]$, наприклад, для швидкості потоку $v(t)$.

$$v(t) = \varphi[\alpha(t)S] \cong \text{const} \sqrt[n]{\alpha(t)S}, \quad (8)$$

Конструктивний параметр mc консервативний, але може змінюватися за рахунок корозії та обростання датчиків. У припущенні, що ці зміни у всіх датчиків однакові, його можна завжди визначити. Параметр mc може бути інформативним, якщо на датчиках буде що-небудь осідати зі середовища.

Температуру середовища $\theta_c(t)$ можна визначити по одному з трьох рівнянь (4)

$$\theta_c(t) = \theta_i(t) - \frac{mc\dot{\theta}_i(t) + P_i(t)}{\alpha(t)S}, \quad i = \overline{1,2,3}, \quad (9)$$

Доцільно визначати температуру потоку як середню по трьох каналах по формулі

$$\theta_c(t) = \frac{1}{3} \sum_{i=1}^3 \left[\theta_i(t) - \frac{mc\dot{\theta}_i(t) + P_i(t)}{\alpha(t)S} \right], \quad (10)$$

Таким чином, запропонованим способом визначаються миттєві значення коефіцієнта теплообміну α , отже, параметра потоку, що вимірюється, а також температури потоку і конструктивного параметра датчиків.

Швидкодіяння способу обмежене тільки розривленням і швидкодіянням перетворювача опорів датчиків і потужності нагріву в цифру і процесора, що виконує алгоритм вимірювання.

Обчислення параметрів потоку, що вимірюються, можливе як вбудованим процесором, якщо його продуктивності вистачить для обробки даних в реальному масштабі часу до кінцевого результату, так і зовнішнім процесором під час і після вимірювань.

Джерела інформації:

1. Коротков П.А., Лондон Г.Е. Динамічні контактні вимірювання теплових величин. Л.: "Машинобудування". Л.О., 1974. 224 с.

2. Авторське свідоцтво СРСР №1645903, кл. G01 P5/12. Пріоритет 26.12.83. Опубл. Віол. №16, 1991. прототип.

3. Яришев Н.А. Теоретичні основи вимірювання нестационарної температури. 2-е вид., перероб. Л.: Енергоатоміздат. Ленінгр. від-я. 1990. 256с.

