



УКРАЇНА

(19) UA

(11) 79833

(13) C2

(51) МПК (2006)

G01P 5/00

G01P 5/10

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ
І НАУКИ УКРАЇНИ

ДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ

ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА ВІНАХІД

(54) СПОСІБ ГРАДУЮВАННЯ ВИМІРНИКА ШВИДКОСТІ ПОТОКУ

1

2

(21) а200505079

(22) 30.05.2005

(24) 25.07.2007

(46) 25.07.2007, Бюл. № 11, 2007 р.

(72) Гайський Віталій Олександрович, Гайський Павло Віталійович

(73) МОРСЬКИЙ ГІДРОФІЗИЧНИЙ ІНСТИТУТ НАЦІОНАЛЬНОЇ АКАДЕМІЇ НАУК УКРАЇНИ

(56) Принципы построения технических средств исследования океана. М.: Наука, 1981. - С. 29-31. SU 1538130, 23.01.1990

(57) Спосіб градуювання вимірника швидкості потоку з визначенням коефіцієнтів α_{ij} ($j = 0, m$) градуювальної характеристики $V_i = \varphi_i(\alpha_{ij}, N_i)$ по значеннях N_i вихідного сигналу по i -тій координаті ($i = \overline{1, n}$) використовуваного в вимірникові n -компонентного ($n = \overline{1, 3}$) датчика швидкості обтікання потоком, при значеннях V_i складових швидкості обтікання, який полягає в тому, що датчик переміщують в потоці і фіксують значення його вихідного сигналу, розташовують датчик поза потоком і фіксують значення його вихідного сигналу, який відрізняється тим, що в геометричному центрі n -компонентного датчика швидкості обтікання потоком додатково розміщують n -компонентний датчик прискорення власних рухів, розташовують датчики в потоці робочого середовища і переміщують їх поступально-зворотно по прямій лінії без зміни орієнтації осей, фіксують по кожній i -тій просторовій координаті одночасно ряд значень $N_i(t)$ вихідного сигналу датчика швидкості обтікання потоком і ряд значень $g_i(t)$ вихідного сигналу датчика прискорення власних рухів при ($t = \overline{1, l}$), розташовують датчики в робочому середовищі при відсутності потоку, забезпечують їх нерухомість і фіксують значення N_{i0} вихідного сигналу датчика швидкості обтікання потоком, коефіцієнти α_{ij} градуювальної характеристики визначають по отриманій сукупності значень $N_i(t)$,

$g_i(t)$ і N_{i0} для $j = \overline{1, m}$ методом найменших квадратів з регресійної залежності

$$g_i(t) = \varphi_i^{(l)}[\alpha_{ij}, N_i(t)],$$

де $\varphi_i^{(l)}[\alpha_{ij}, N_i(t)]$ - перша похідна за часом від функції $\varphi_i[\alpha_{ij}, N_i(t)]$, для $j = 0$ коефіцієнт α_{i0} визначають за виразом

$$\alpha_{i0} = -\varphi_i(\alpha_{ij}, N_{i0}),$$

наприклад, для акустичних вимірників швидкості потоку, що мають градуювальну характеристику у вигляді степеневого полінома

$$\varphi_i(\alpha_{ij}, N_i) = \sum_{j=0}^m \alpha_{ij} N_i^j,$$

коефіцієнти α_{ij} ($j = \overline{1, m}$) визначають методом найменших квадратів з регресійної залежності

$$g_i(t) = N_i^{(l)}(t) \sum_{j=1}^m \alpha_{ij} N_i^{j-l}(t),$$

де $N_i^{(l)}(t)$ - перша похідна за часом ряду відліків $N_i(t)$, коефіцієнт α_{i0} визначають за виразом

$$\alpha_{i0} = -\sum_{j=1}^m \alpha_{ij} N_{i0}^j,$$

для термоанемометрів, що мають градуювальну характеристику

$$\varphi_i(\alpha_{ij}, N_i) = \alpha_{i0} + \alpha_{i1} N_i^{K_i},$$

де K_i - градуювальний показник степеня, коефіцієнти α_{i1} і K_i визначають з регресійної залежності

$$g_i(t) = K_i \alpha_{i1} N_i^{K_i-l}(t) N^{(l)}(t),$$

коефіцієнт α_{i0} визначають за виразом

$$\alpha_{i0} = -\alpha_{i1} N_{i0}^{K_i},$$

для гідродинамічних вимірників швидкості потоку типу трубки Піто, що мають градуювальну характеристику

(13) C2

(11) 79833

(19) UA

$$\varphi(\alpha_j, N) = \alpha_I N^{\frac{1}{2}},$$

коефіцієнт α_I , визначають з регресійної залежності

$$g(t) = \frac{1}{2} \alpha_I N^{-\frac{1}{2}}(t) N^{(I)}(t),$$

де $N^{(I)}(t)$ - перша похідна ряду відліків $N(t)$.

Винахід відноситься до вимірювальної техніки і призначений для використання при градуванні і перевірці вимірників швидкості потоку рідин або газів, наприклад, переносних вимірників швидкості течії вод або швидкості вітру в гідрометеорології.

Відомі способи градування вимірників швидкості потоку на спеціальних аеро- або гідродинамічних стендах, де швидкість потоку задається і контролюється зразковим вимірювальним засобом і коефіцієнти градувальної характеристики атестованого вимірника визначаються по показаннях вимірника і зразкового засобу в робочому діапазоні швидкостей потоку.

Загальним недоліком цих способів градування вимірників швидкості потоку, характеристики яких залежать від фізичних параметрів середовища, є обмежена точність через те, що фізичні параметри середовища (температура, теплоємність, теплопровідність, густина, кінематична в'язкість, електропровідність, швидкість звуку) і характеристики потоків (спектр турбулентності і його просторова анізотропія) в стенді та в реальному середовищі майже завжди різні.

Наприклад, це характерне для гідродинамічних, термоанемометричних і акустичних вимірників, які містять датчики швидкості обтікання потоком [1].

Відомий спосіб градування датчика термоанометра [2] в організованому потоку газу з відомою витратою, що полягає в тому, що при різних значеннях витрати переміщують датчик швидкості обтікання упоперек потоку і синхронно з вимірюванням вихідного сигналу датчика вимірюють значення поперечної координати, по отриманих значеннях вихідного сигналу датчика при відомих витратах, в тому числі при відсутності потоку, і положеннях датчика з урахуванням його геометричних і фізичних характеристик визначають градувальну характеристику.

Цей спосіб прийнятий як прототип по сукупності ознак, бо містить, зокрема, ознаку, в найбільшій мірі, в порівнянні з ознаками інших аналогів, що впливає на досягнення технічного результату винаходу - переміщення датчика в потоку при вимірюваннях, по i -тій координаті, його вихідного сигналу.

Загальними ознаками для прототипу і заявленого способу градування є переміщення датчика в потоку, розміщення датчика в середовищі поза потоком і фіксування у обох разгах значень його вихідного сигналу.

Недоліком прототипу є обмежена точність внаслідок того, що операції способу проводять в штучно створеному потоку з відомими витратами,

а не в реальному робочому середовищі, в якому здійснюють експлуатацію вимірника. Крім того, при градуванні вимірників швидкості потоку на стенді є складності контролю швидкості переміщення вимірника.

У основі винаходу лежить рішення задачі створення способу градування вимірника швидкості потоку, в якому шляхом спільного використання датчика швидкості обтікання потоком і датчика прискорення власних рухів, а також за рахунок особливостей операцій визначення коефіцієнтів конкретних градувальних функцій забезпечується технічний результат винаходу - підвищення достовірності визначення коефіцієнтів градувальної характеристики, що підвищує точність градування.

Поставлена задача вирішується тим, що в способі градування вимірника швидкості потоку з визначенням коефіцієнтів a_{ij} ($j=0, m$) градувальної характеристики $V_i = \varphi_i(a_{ij}, N_i)$ по значеннях N_i , вихідного сигналу по i -тій ($i = \overline{1, n}$) координаті n -компонентного ($n = \overline{1, 3}$) датчика швидкості обтікання потоком, що використовується у вимірникові, при значеннях V_i складових швидкості обтікання, що полягає в переміщенні датчика в потоку і фіксації значень його вихідного сигналу, фіксації значень вихідного сигналу датчика поза потоком, новим є те, в геометричному центрі n -компонентного датчика швидкості обтікання потоком додатково розміщують n -компонентний датчик прискорення власних рухів, розташовують датчики в потоку робочого середовища і переміщують їх поступально-зворотно по прямій лінії без зміни орієнтації осей, фіксують по кожній i -тій просторовій координаті одночасно ряд значень $N_i(t)$ вихідного сигналу датчика швидкості обтікання потоком і ряд значень $g_i(t)$ вихідного сигналу датчика прискорення власних рухів при ($t = \overline{1, l}$), розташовують датчики в робочому середовищі при відсутності потоку, забезпечують їх нерухомість і фіксують значення N_{i0} вихідного сигналу датчика швидкості обтікання потоком, коефіцієнти a_{ij} градувальної характеристики $V_x = \varphi_i(a_{ij}, N_i)$ ($j = \overline{0, m}$) визначають по отриманій сукупності значень $N_i(t)$, $g_i(t)$ і N_{i0} для $j = \overline{1, m}$ методом найменших квадратів з регресійної залежності

$$g_i(t) = \varphi_i^{(1)}[a_{ij}, N_i(t)], \quad (1)$$

де $\varphi_i^{(j)}[a_{ij}, N_i(t)]$ - перша похідна за часом від функції $\varphi_i[a_{ij}, N_i(t)]$, для $j=0$ коефіцієнт a_{i0} визначають за виразом

$$a_{i0} = -\varphi_i(a_{ij}, N_{i0}), \quad (2)$$

наприклад, для акустичних вимірників швидкості потоку, що мають градувальну характеристику у вигляді степеневого полінома

$$\varphi_i(a_{ij}, N_i) = \sum_{j=0}^m a_{ij} N_i^j, \quad (3)$$

коефіцієнти a_{ij} ($j = \overline{1, m}$) визначають методом найменших квадратів з регресійної залежності

$$g_i(t) = N_i^{(1)}(t) \sum_{j=1}^m a_{ij} N_i^{j-1}(t), \quad (4)$$

де $N_i^{(1)}(t)$ - перша похідна за часом ряду відліків $N_i(t)$, коефіцієнт a_{i0} визначають за виразом

$$a_{i0} = -\sum_{j=1}^m a_{ij} N_{i0}^j, \quad (5)$$

для термоанемометрів, що мають градувальну характеристику

$$\varphi_i(a_{ij}, N_i) = a_{i0} + a_{i1} N_i^{K_i}, \quad (6)$$

де K_i - градувальний показник степеня, коефіцієнти a_{i0} і a_{i1} визначають з регресійної залежності

$$g_i(t) = K_i a_{i1} N_i^{K_i-1}(t) N_i^{(1)}(t), \quad (7)$$

коефіцієнт a_{i0} визначають за виразом

$$a_{i0} = -a_{i1} N_{i0}^{K_i},$$

для гідродинамічних вимірників швидкості потоку типу трубки Піто, що мають градувальну характеристику

$$\varphi_i(a_i, N) = a_i N^{\frac{1}{2}},$$

коефіцієнт a_{i0} визначають з регресійної залежності

$$g_i(t) = \frac{1}{2} a_i N^{-\frac{1}{2}}(t) N^{(1)}(t),$$

де $N^{(1)}(t)$ - перша похідна ряду відліків $N(t)$.

Суть способу складається в наступному. Розглядаємо вимірники вектора або модуля швидкості потоку, градувальні характеристики яких по i -й координаті в приладовій системі координат з достатньою точністю апроксимуються функцією

$$V_i(N_i) = \varphi_i(a_{ij}, N_i), \quad i = \overline{1, 3}; \quad j = \overline{0, m}, \quad (8)$$

де N_i - показання вимірника по i -координаті при значенні V_{ix} складової швидкості обтікання по i -й координаті;

a_{ij} - коефіцієнти градувальної характеристики, які треба визначити ($j = \overline{0, m}$);

φ_{ij} - функція, прийнята для вимірника з принципу вимірювання або яка є функцією апроксимації експериментальної градувальної характеристики.

Зокрема, якщо градувальна характеристика вимірника задовільно апроксимується степеневим поліномом степеня m , то

$$V_i(N_i) = a_{i0} + a_{i1} N_i + a_{i2} N_i^2 + \dots + a_{im} N_i^m. \quad (9)$$

Такі градувальні характеристики характерні для акустичних вимірників швидкості потоку.

Для аеро-гідродинамічних вимірників (типу трубки Піто) характерна градувальна характеристика вигляду

$$V_i(N_i) = a_{i1} N_i^{\frac{1}{2}}, \quad (10)$$

де N_i - відліки тиску напору від потоку.

Для термоанемометричного вимірника типова градувальна характеристика має вигляд

$$V_i(N_i) = a_{i0} + a_{i1} N_i^{K_i}, \quad (11)$$

де a_{i0} - коефіцієнт, що залежить від теплообміну датчика зі середовищем при відсутності потоку ($V_i = 0$) і від фізичних параметрів середовища;

a_{i1} - коефіцієнт, що залежить від конструкції датчика, фізичних параметрів середовища і характеристик потоку;

N_i - відліки показань вимірника, пропорційні коефіцієнту теплообміну датчика зі середовищем, що залежить від параметрів середовища і швидкості потоку;

K_i - коефіцієнт, залежний від характеристик потоку, який визначається числом Рейнольдса і який набуває значення від 0,2 до 0,6.

При одночасній у часі фіксації відліків вимірника швидкості потоку $N_i(t)$ і показань датчика прискорень власних рухів $g_i(t)$ отримують два ряди відліків при $t = \overline{1, l}$.

Для швидкості обтікання датчика швидкості потоку по i -й координаті можна записати

$$V_i(t) = V_{ix}(t) + V_{i0}(t), \quad (12)$$

де $V_{ix}(t)$ - складова швидкості потоку;

$V_{i0}(t)$ - складова власної швидкості датчика.

Відліки $N_i(t)$ відповідають градувальній характеристиці швидкості обтікання датчика $V_i(t)$.

Якщо за час l відліків складова швидкості потоку $V_{ix}(t)$ міняється незначно так, що можна при-

йняти $\frac{\partial V_{ix}}{\partial t} \approx 0$, а швидкість власних рухів датчика

$V_{i0}(t)$ змінюється істотно $\frac{\partial V_{i0}}{\partial t} \neq 0$ що цілком реалізовно, то для похідної виразу (12) можемо записати

$$\frac{\partial V_i(t)}{\partial t} = \frac{\partial V_{i0}(t)}{\partial t} \approx g_i(t). \quad (13)$$

Диференціюючи вираз $\varphi_i^{(l)}[a_{ij}N_i(t)]$ для ряду $N_i(t)$ за градувальною характеристикою, отримаємо

$$\frac{\partial V_i(t)}{\partial t} = g_i(t) = \varphi_i^{(l)}[a_{ij}N_i(t)], \quad t = \overline{1, l}; \quad l \geq m; \quad j = \overline{1, m}, \quad (14)$$

де $\varphi_i^{(l)}[a_{ij}N_i(t)]$ - перші похідні за часом функції $\varphi_i[a_{ij}N_i(t)]$, які обчислюються по ряду $N_i(t)$. Ці дані дозволяють визначити методом найменших квадратів коефіцієнти a_{i0} $j = \overline{1, m}$.

При фіксації відліку N_{i0} датчика швидкості потоку в робочому середовищі при відсутності швидкості потоку і власної швидкості визначають коефіцієнт a_{i0} по виразу (2).

У окремому випадку для градувальної характеристики вимірника швидкості потоку у вигляді степеневого полінома вигляду (9) отримаємо

$$g_i(t) = a_{i1}N_i^{(1)}(t) + 2a_{i2}N_i(t)N_i^{(1)}(t) + \dots + ma_{im}N_i^{m-1}(t)N_i^{(1)}(t) \quad (15)$$

$$\frac{g_i(t)}{N_i^{(1)}(t)} = a_{i1} + 2a_{i2}N_i(t) + \dots + ma_{im}N_i^{m-1}(t). \quad (16)$$

У загальному випадку градувальні коефіцієнти a_{ij} ($j = \overline{1, m}$) визначають як коефіцієнти регресії по рядах $g_i(t)$ і $N_i(t)$ і виразу (16) методом найменших квадратів.

Для градувальної характеристики вигляду (10) отримаємо регресійний вираз

$$g_i(t) = \frac{1}{2}a_{i1}N_i^{-\frac{1}{2}}(t)N_i^{(1)}(t). \quad (17)$$

де невідомими є K_i і a_{i1}

Для градувальної характеристики вигляду (6) отримаємо регресійний вираз

$$g_i(t) = K_i a_{i1} N_i^{K_i-1}(t) N_i^{(1)}(t), \quad (18)$$

Далі

$$a_{i0} = -a_{i1}N_{i0}^{K_i} \quad (19)$$

Таким чином визначаються коефіцієнти градувальних характеристик типових моделей вимірників швидкості потоку.

Розглянемо приклад реалізації способу для термоанометра з двома датчиками температури, один з яких підігрітий і має сферичну діаграму спрямованості по чутливості до вектора швидкості обтікання.

Вихідний сигнал такого термоанометра, яким є величина, зворотна різниці температур двох датчиків температури, визначається модулем

вектора швидкості обтікання датчика потоком і не залежить від напрямку. Тому градувальна характеристика термоанометра може бути зображена виразом

$$V = \sum_{j=0}^m a_j \varphi_j(N_i)$$

де функції φ_j відомі і шуканими є коефіцієнти a_j , $j = \overline{0, m}$.

Для виконання градування термоанометра в реальних умовах в нього вбудований акселерометр, що дозволяє визначити прискорення власного градувального руху вздовж деякої прямої. Якщо це однокомпонентний акселерометр, то градувальний рух повинний бути вздовж його осі.

Якщо це двоконпонентний акселерометр, то градувальний рух повинний бути по прямій в площині осей акселерометра. Якщо це трикомпонентний акселерометр, то градувальний рух може бути по довільній прямій в просторі.

У процесі градувального руху по прямій із змінною швидкістю з допомогою акселерометра визначається прискорення власного руху $g(t)$ і ряд вихідних відліків $N(t)$ термоанометра. Можемо записати

$$g(t) = \sum_{j=1}^m a_j \varphi_j^{(1)}[N(t)], \quad t = \overline{1, l}; \quad l \geq m.$$

Якщо градувальна характеристика термоанометра є степеневим поліномом, то отримаємо

$$\frac{g(t)}{N^{(1)}(t)} = a_1 + 2a_2N(t) + \dots + ma_mN^{m-1}(t).$$

Прирізних $t = \overline{1, l}$, $l \geq m$ отримаємо регресивне рівняння для знаходження коефіцієнтів a_j $j = \overline{1, m}$ методом найменших квадратів.

Коефіцієнт a_0 визначаємо по відліку N_0 вихідного сигналу нерухомого термоанометра, вміщеного в робоче середовище при нульовій швидкості потоку, по формулі

$$a_0 = - \sum_{j=1}^m a_j N_0^j.$$

Використані джерела:

1. Принципы построения технических средств исследования океана. М.:Наука, 1981, 324 с., С. 29-31.

2. Авторське свідоцтво СРСР №1538130 кл. 5G01P5/12. Спосіб градування датчика термоанометра. Автори: Ю.Л.Тонконогий, В.Н.Буз, А.А.Гарбуз. Опубл. 23.01.90, бюл. №3 (прототип).