



УКРАЇНА

(19) UA

(11) 76062

(13) C2

(51) МПК (2006)

G01P 5/00

G01S 15/00

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ
І НАУКИ УКРАЇНИДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІОПИС
ДО ПАТЕНТУ НА ВИНАХІД

(54) АКУСТИЧНИЙ СПОСІБ ВИМІРЮВАННЯ ШВИДКОСТІ ТА НАПРЯМУ ПОТОКУ РІДИНИ АБО ГАЗУ І ПРИСТРІЙ ДЛЯ ЙОГО ЗДІЙСНЕННЯ (ВАРІАНТИ)

1

2

(21) a200500062

(22) 04.01.2005

(24) 15.06.2006

(46) 15.06.2006, Бюл. № 6, 2006 р.

(72) Гайський Віталій Олександрович, Гайський Павло Віталіович, Греков Миколай Олександрович

(73) МОРСЬКИЙ ГІДРОФІЗИЧНИЙ ІНСТИТУТ НАЦІОНАЛЬНОЇ АКАДЕМІЇ НАУК УКРАЇНИ

(56) SU 1136081, 23.01.1985

SU 690392, 05.10.1979

US 5373736, 20.12.1994

WO 00/73804, 07.12.2000

EP 0591349, 13.04.1994

GB 2110824, 22.07.1983

(57) 1. Акустичний спосіб вимірювання швидкості та напрямку потоку рідини або газу з використанням рознесених в просторі акустичних випромінювачів-приймачів, що включає випромінювання і приймання акустичних сигналів, фіксацію часових інтервалів проходження сигналів на акустичних трасах і обчислення швидкості звуку і складових вектора швидкості потоку в заданій системі координат, який **відрізняється** тим, що акустичні випромінювачі-приймачі по одному розміщені у вершинах неправильного чотирикутника в площині потоку таким чином, щоб в діаграмі спрямованості кожного з них знаходилися три інші, при цьому кожним випромінювачем опромінюють одночасно три приймачі, фіксують дванадцять часових інтервалів проходження сигналами акустичних трас, що включають пари приймально-передавальних трактів і вимірювальні бази в потоці між випромінювачем і приймачем, і обчислюють кут φ між напрямом вектора швидкості потоку та віссю абсцис в приладовій системі координат, швидкість звуку в середовищі С і модуль вектора швидкості потоку v по виразах:

$$\varphi = \arctg \frac{A_1 - pA_2}{pB_2 - B_1},$$

$$C = \frac{2(L_{12} - L_{14} - L_{23} + L_{34})}{T_1 + T_3},$$

$$v = \frac{v_1 + v_2}{2},$$

де

$$v_1 = \frac{(T_1 - T_3)C^2}{2(A_1 \cos \varphi + B_1 \sin \varphi)}, \quad v_2 = \frac{(T_2 - T_4)C^2}{2(A_2 \cos \varphi + B_2 \sin \varphi)}$$

$$A_1 = L_{12} + L_{14} \cos \alpha_{14} - L_{23} \cos \alpha_{23} - L_{34} \cos \alpha_{34};$$

$$B_1 = L_{14} \sin \alpha_{14} - L_{23} \sin \alpha_{23} - L_{34} \sin \alpha_{34};$$

$$A_2 = -L_{12} + L_{13} \cos \alpha_{13} - L_{24} \cos \alpha_{24} + L_{34} \cos \alpha_{34};$$

$$B_2 = L_{13} \sin \alpha_{13} - L_{24} \sin \alpha_{24} + L_{34} \sin \alpha_{34};$$

$$T_1 = \tau_{12} - \tau_{14} - \tau_{32} + \tau_{34}; \quad T_2 = \tau_{12} - \tau_{13} - \tau_{42} + \tau_{43};$$

$$T_3 = \tau_{21} - \tau_{23} - \tau_{41} + \tau_{43}; \quad T_4 = \tau_{21} - \tau_{24} - \tau_{31} + \tau_{34};$$

$$p = \frac{T_1 - T_3}{T_2 - T_4};$$

де τ_{ij} - час проходження сигналу по трасі і-го випромінювача та j-го приймача, $i = \overline{1,4}$; $j = \overline{1,4}$;

α_{ij} - кут між напрямом траси від і-го випромінювача до j-го приймача і віссю абсцис, збіжною у напрямі з 12-ою трасою;

L_{ij} - довжина вимірювальної бази ij-траси в середовищі.

2. Пристрій для акустичного вимірювання швидкості та напрямку потоку рідини або газу, що містить розміщені в просторі акустичні випромінювачі-приймачі, виходи яких через підсилювачі на приймання сполучені зі стоповими входами перетворювачів часових інтервалів в код, у яких входи сигналів опорної частоти сполучені з виходом генератора опорної частоти, а цифрові виходи сполучені з входом мікропроцесора, вихід якого є виходом пристрою, який **відрізняється** тим, що акустичні випромінювачі-приймачі по одному розміщені у вершинах неправильного плоского чотирикутника таким чином, щоб в діаграмі спрямованості кожного з них знаходилися три інші, містить генератор імпульсних сигналів, вихід якого підключений до стартових входів всіх перетворювачів часових інтервалів в код і до входу комутатора, виходи якого підключені до входів акустичних випромінювачів-приймачів, а адресний вхід підключений до одного з виходів мікропроцесора.

3. Пристрій для акустичного вимірювання швидкості та напрямку потоку рідини або газу, що містить розміщені в просторі акустичні випромінювачі-приймачі, виходи яких сполучені з підсилювачами

(13) C2

(11) 76062

(19) UA

на приймання, і мікропроцесор, вихід якого є виходом пристрою, який **відрізняється** тим, що акустичні випромінювачі-приймачі по одному розміщені у вершинах неправильного плоского чотирикутника таким чином, щоб в діаграмі спрямованості кожного з них знаходилися три інші, містить чотирирозрядний регістр на приймання, одиничні входи

розрядів якого підключені до виходів підсилювачів на приймання, а вихід підключений до входу мікропроцесора, один з виходів якого підключений до входу чотирирозрядного регістра на випромінювання, одиничні входи розрядів якого через підсилювачі на випромінювання сполучені з входами акустичних випромінювачів-приймачів.

Винахід відноситься до вимірювальної техніки і призначений для вимірювання швидкості та напрямку потоку рідини або газу. Він може бути використаний для вимірювання швидкості та напрямку вітру, течії в морі.

Відомі акустичні способи вимірювання швидкості та напрямку потоку рідини або газу і пристрої, що їх реалізують, засновані на використанні декількох пар рознесених в просторі на вимірювальних базах випромінювачів-приймачів акустичних сигналів, організації зустрічного проходження акустичних сигналів по вимірювальних базах, визначенні швидкості звуку в середовищі й складових проекції вектора швидкості потоку на вимірювальні бази по різниці часів проходження акустичних сигналів в різних напрямках [1-4].

Точність цих засобів вимірювання обмежена впливом на результат вимірювання часової затримки сигналів в передавальних і приймальних трактах, включаючи затримки в акустичних перетворювачах, які істотно залежать від температури та тиску, і змінюються з часом. Крім того, в результаті вимірювання входить швидкість звуку в середовищі, яку визначають з обмеженою точністю через ті ж затримки сигналів в приймально-передавальних трактах.

Відомий пристрій для вимірювання швидкості течії, в якому для підвищення точності шляхом незалежного непрямого вимірювання швидкості звуку і внесення поправок на часи затримок акустичних сигналів в приймально-передавальних трактах по градувальних залежностях затримок від температури та тиску, використовують як вимірники інтервалів часу передачі акустичних сигналів, так і вимірники відносної електричної провідності, температури й гідростатичного тиску [5].

Цей пристрій і лежачий в основі його роботи акустичний спосіб вимірювання швидкості течії прийняті як прототипи для кожного з винаходів, що входять до заявленої групи. Вибір прототипу визначений тим, що заявлене технічне рішення та засіб того ж призначення [5] вирішують одну і ту ж задачу. При цьому прототип є найбільш близьким до заявленого винаходу по технічній суті та сукупності ознак, оскільки містить ознаки, що в більшій мірі в порівнянні з іншими впливають на досягнення технічного результату, очікуваного від використання винаходу.

Для заявленого способу загальним з прототипом є: використання рознесених в просторі акустичних випромінювачів-приймачів, випромінювання та приймання акустичних сигналів, фіксація

часів проходження сигналів на акустичних трасах і обчислення швидкості потоку в заданій системі координат.

Пристрій-прототип, як і заявлене рішення, містить акустичні випромінювачі-приймачі, розміщені в просторі, підсилювачі на приймання, перетворювачі часових інтервалів в код, генератор опорної частоти та мікропроцесор, зв'язані між собою.

Недоліком прототипу є те, що він не забезпечує необхідної точності вимірювання. При цьому таке технічне рішення складне й вимагає складного періодичного градування.

У основу винаходу поставлена задача створення акустичного способу вимірювання швидкості та напрямку потоку рідини або газу, а також пристрою для його здійснення, які забезпечують виключення з результату вимірювання швидкості звуку й швидкості потоку часових затримок в приймально-передавальних трактах на акустичних трасах. Вказаний технічний результат підвищує точність вимірювань.

Поставлена задача вирішується тим, що в способі з використанням рознесених в просторі акустичних випромінювачів-приймачів, що включає випромінювання та приймання акустичних сигналів, фіксацію часів проходження сигналів на акустичних трасах й обчислення швидкості звуку і складових вектора швидкості потоку в заданій системі координат, згідно з винаходом акустичні випромінювачі-приймачі розміщують по одному у вершинах неправильного чотирикутника, лежачого в площині потоку, таким чином, щоб в діаграмі спрямованості кожного з них знаходилися три інші. Кожним випромінювачем опромінюють одночасно три приймачі, фіксують дванадцять часів проходження сигналами акустичних трас, що включають пари приймально-передавальних трактів і вимірювальні бази в потоці між випромінювачем і приймачем, обчислюють кут φ між напрямом вектора швидкості потоку та віссю абсцис в приладній системі координат, швидкість звуку в середовищі C і модуль вектора швидкості потоку v по виразах:

$$\varphi = \arctg \frac{A_1 - pA_2}{pB_2 - B_1}, \quad C = \frac{2(L_{12} - L_{14} - L_{23} + L_{34})}{T_1 + T_3},$$

$$v = \frac{v_1 + v_2}{2},$$

де

$$v_1 = \frac{(T_1 - T_3)C^2}{2(A_1 \cos \varphi + B_1 \sin \varphi)}, \quad v_2 = \frac{(T_2 - T_4)C^2}{2(A_2 \cos \varphi + B_2 \sin \varphi)}$$

$$A_1 = L_{12} + L_{14} \cos \alpha_{14} - L_{23} \cos \alpha_{23} - L_{34} \cos \alpha_{34};$$

$$\begin{aligned}
B_1 &= L_{14} \sin \alpha_{14} - L_{23} \sin \alpha_{23} - L_{34} \sin \alpha_{34}; \\
A_2 &= -L_{12} + L_{13} \cos \alpha_{13} - L_{24} \cos \alpha_{24} + L_{34} \cos \alpha_{34}; \\
B_2 &= L_{13} \sin \alpha_{13} - L_{24} \sin \alpha_{24} + L_{34} \sin \alpha_{34}; \\
T_1 &= \tau_{12} - \tau_{14} - \tau_{32} + \tau_{34}; \quad T_2 = \tau_{12} - \tau_{13} - \tau_{42} + \tau_{43}; \\
T_3 &= \tau_{21} - \tau_{23} - \tau_{41} + \tau_{43}; \quad T_4 = \tau_{21} - \tau_{24} - \tau_{31} + \tau_{34}; \\
\rho &= \frac{T_1 - T_3}{T_2 - T_4};
\end{aligned}$$

де τ_{ij} - час проходження сигналу по трасі i -го випромінювача та j -го приймача, $i = \overline{1,4}$; $j = \overline{1,4}$;

α_{ij} - кут між напрямом траси від i -го випромінювача до j -го приймача і віссю абсцис, збіжною у напрямі з 12-ою трасою;

L_{ij} - довжина вимірювальної бази ij - траси в середовищі.

Згідно з першим варіантом в пристрої для акустичного вимірювання швидкості та напрямку потоку рідини і газу, що містить розміщені в просторі акустичні випромінювачі-приймачі, виходи яких через підсилювачі на приймання сполучені зі степовими входами перетворювачів часових інтервалів в код, у яких входи сигналів опорної частоти сполучені з виходом генератора опорної частоти, а цифрові виходи сполучені з входом мікропроцесора, вихід якого є виходом пристрою, новим є те, що акустичні випромінювачі-приймачі по одному розміщені у вершинах неправильного плоского чотирикутника таким чином, щоб в діаграмі спрямованості кожного з них знаходилися три інші, й він містить генератор імпульсних сигналів, вихід якого підключений до стартових входів всіх перетворювачів часових інтервалів в код і до входу комутатора, у якого виходи підключені до входів акустичних випромінювачів-приймачів, а адресний вхід підключений до одного з виходів мікропроцесора.

Згідно з другим варіантом в пристрої для акустичного вимірювання швидкості та напрямку потоку рідини або газу, що містить розміщені в просторі акустичні випромінювачі-приймачі, виходи яких сполучені з підсилювачами на приймання, і мікропроцесор, вихід якого є виходом пристрою, новим є те, що акустичні випромінювачі-приймачі по одному розміщені у вершинах неправильного плоского чотирикутника таким чином, щоб в діаграмі спрямованості кожного з них знаходилися три інші, й він містить чотирирозрядний регістр на приймання, у якого одиничні входи розрядів підключені до виходів підсилювачів на приймання, а вихід підключений до входу мікропроцесора, один з виходів якого підключений до входу чотирирозрядного регістра на випромінювання, одиничні входи розрядів якого через підсилювачі на випромінювання сполучені з входами акустичних випромінювачів-приймачів.

На Фіг.1 показана зразкова схема розміщення акустичних випромінювачів-приймачів у вершинах неправильного чотирикутника в площині потоку та схема акустичних трас. На Фіг.2 зображена схема формування проекцій вектора швидкості на напрями акустичних трас.

Суть способу складається в наступному.

Чотири акустичні випромінювачі-приймачі ро-

зміщують у вершинах неправильного чотирикутника, наприклад, так, як це показано на Фіг.1. Відстані між вершинами утворюють шість баз, які попарно не рівні ($L_{ij} \neq L_{sk}$).

Випромінювач-приймач містить або один оборотний акустичний перетворювач або два: один на передачу, другий на приймання.

Кожний випромінювач має діаграму спрямованості, в якій знаходяться три приймачі.

Кожний i -ий випромінювач посилає імпульсно-модульований сигнал на три приймачі, і фіксуються часи τ_{ij} у проходження сигналу по трасах від i -го випромінювача до j -го приймача, що включають часи затримок в приймально-передавальних трактах: у випромінювачі - τ_{ui} , в приймачі - τ_{nj} .

Для часів проходження сигналами дванадцяти акустичних трас, що фіксуються, можемо записати

$$\begin{aligned}
\tau_{12} &= \tau_{u1} + \tau_{n2} + \frac{L_{12}}{C + v_{12}}, \quad \tau_{13} = \tau_{u1} + \tau_{n3} + \frac{L_{13}}{C + v_{13}}, \\
\tau_{14} &= \tau_{u1} + \tau_{n4} + \frac{L_{14}}{C + v_{14}}, \quad \tau_{21} = \tau_{u2} + \tau_{n1} + \frac{L_{12}}{C - v_{14}}, \\
\tau_{23} &= \tau_{u2} + \tau_{n3} + \frac{L_{23}}{C + v_{23}}, \quad \tau_{24} = \tau_{u2} + \tau_{n4} + \frac{L_{24}}{C + v_{24}}, \\
\tau_{31} &= \tau_{u3} + \tau_{n1} + \frac{L_{13}}{C - v_{13}}, \quad \tau_{32} = \tau_{u3} + \tau_{n2} + \frac{L_{23}}{C - v_{23}}, \\
\tau_{34} &= \tau_{u3} + \tau_{n4} + \frac{L_{34}}{C + v_{34}}, \quad \tau_{41} = \tau_{u4} + \tau_{n1} + \frac{L_{14}}{C - v_{14}}, \\
\tau_{42} &= \tau_{u4} + \tau_{n2} + \frac{L_{24}}{C - v_{24}}, \quad \tau_{43} = \tau_{u4} + \tau_{n3} + \frac{L_{34}}{C - v_{34}},
\end{aligned} \quad (1)$$

де $\tau_{u1}, \tau_{u2}, \tau_{u3}, \tau_{u4}$ - затримки випромінювачів,

$\tau_{n1}, \tau_{n2}, \tau_{n3}, \tau_{n4}$ - затримки приймачів,

C - швидкість звуку в середовищі,

v_{ij} - проекції вектора швидкості потоку на напрями ij - й траси, $i = \overline{1,4}$; $j = \overline{1,4}$.

Для виключення затримок в приймально-передавальних трактах проводимо наступне складання та віднімання рівнянь системи (1)

$$\begin{aligned}
T_1 &= \tau_{14} - \tau_{12} + \tau_{32} - \tau_{34} = \frac{L_{14}}{C + v_{14}} - \frac{L_{12}}{C + v_{12}} + \frac{L_{23}}{C - v_{23}} - \frac{L_{34}}{C + v_{34}}, \\
T_2 &= \tau_{12} - \tau_{21} - \tau_{42} + \tau_{43} = \frac{L_{12}}{C + v_{12}} - \frac{L_{13}}{C + v_{13}} - \frac{L_{24}}{C - v_{24}} + \frac{L_{34}}{C - v_{34}}, \\
T_3 &= \tau_{23} - \tau_{21} + \tau_{41} - \tau_{43} = \frac{L_{23}}{C + v_{23}} - \frac{L_{12}}{C - v_{12}} + \frac{L_{14}}{C - v_{14}} - \frac{L_{34}}{C - v_{34}}, \\
T_4 &= \tau_{21} - \tau_{24} - \tau_{31} + \tau_{34} = \frac{L_{12}}{C - v_{12}} - \frac{L_{24}}{C + v_{24}} - \frac{L_{13}}{C - v_{13}} + \frac{L_{34}}{C + v_{34}}.
\end{aligned} \quad (2)$$

Для визначення швидкості звуку в середовищі проведемо наступні перетворення:

$$\begin{aligned}
T_1 + T_3 &= \left(\frac{L_{23}}{C - v_{23}} + \frac{L_{23}}{C + v_{23}} \right) - \left(\frac{L_{12}}{C + v_{12}} + \frac{L_{12}}{C - v_{12}} \right) + \left(\frac{L_{14}}{C + v_{14}} + \frac{L_{14}}{C - v_{14}} \right) - \left(\frac{L_{34}}{C - v_{34}} + \frac{L_{34}}{C + v_{34}} \right), \\
T_1 + T_3 &= \frac{2L_{23}C}{C^2 - v_{23}^2} - \frac{2L_{12}C}{C^2 - v_{12}^2} + \frac{2L_{14}C}{C^2 - v_{14}^2} - \frac{2L_{34}C}{C^2 - v_{34}^2}.
\end{aligned}$$

Оскільки $C^2 \gg v_{ij}^2$, то v_{ij}^2 в останньому виразі можна нехтувати і записати

$$\begin{aligned}
T_1 + T_3 &\approx \frac{2}{C} (L_{23} - L_{12} + L_{14} - L_{34}), \quad \text{звідки} \\
C &\approx \frac{2(L_{23} - L_{12} + L_{14} - L_{34})}{T_1 + T_3} \quad (3)
\end{aligned}$$

Далі виразимо проекції v_{ij} на напрями акустичних трас вектора швидкості потоку, заданого в полярній системі координат модулем v і кутом φ .

Приймемо, що напрям траси 12 відповідає $\varphi = 0$.

Виходячи з схеми векторів на Фіг.2, для проекцій v_{ij} отримаємо

$$\begin{aligned} v_{12} &= v \cos \varphi, \\ v_{13} &= v \cos(\alpha_{13} - \varphi) = v(\cos \alpha_{13} \cos \varphi + \sin \alpha_{13} \sin \varphi), \\ v_{14} &= v \cos(\alpha_{14} - \varphi) = v(\cos \alpha_{14} \cos \varphi + \sin \alpha_{14} \sin \varphi), \\ v_{23} &= v \cos(\alpha_{23} - \varphi) = v(\cos \alpha_{23} \cos \varphi + \sin \alpha_{23} \sin \varphi), \\ v_{24} &= v \cos(\alpha_{24} - \varphi) = v(\cos \alpha_{24} \cos \varphi + \sin \alpha_{24} \sin \varphi), \\ v_{34} &= v \cos(\alpha_{34} - \varphi) = v(\cos \alpha_{34} \cos \varphi + \sin \alpha_{34} \sin \varphi). \end{aligned} \quad (4)$$

З виразів 2 отримаємо

$$\begin{aligned} \frac{(T_1 - T_3)C^2}{2} &= L_{12}v_{12} + L_{14}v_{14} - L_{23}v_{23} - L_{34}v_{34}, \\ \frac{(T_2 - T_4)C^2}{2} &= L_{13}v_{13} - L_{12}v_{12} - L_{24}v_{24} + L_{34}v_{34}. \end{aligned} \quad (5)$$

Підставляючи вираз v_{ij} з системи рівнянь 4 в рівняння 5, отримаємо

$$\begin{aligned} \frac{(T_1 - T_3)C^2}{2} &= L_{12}v \cos \varphi + L_{14}v(\cos \alpha_{14} \cos \varphi + \sin \alpha_{14} \sin \varphi) - \\ &- L_{23}v(\cos \alpha_{23} \cos \varphi + \sin \alpha_{23} \sin \varphi) - L_{34}v(\cos \alpha_{34} \cos \varphi + \sin \alpha_{34} \sin \varphi) = \\ &= v[\cos \varphi(L_{12} + L_{14} \cos \alpha_{14} - L_{23} \cos \alpha_{23} - L_{34} \cos \alpha_{34}) + \sin \varphi(L_{14} \sin \alpha_{14} - \\ &- L_{23} \sin \alpha_{23} - L_{34} \sin \alpha_{34})] \\ \frac{(T_2 - T_4)C^2}{2} &= -L_{12}v \cos \varphi + L_{13}v(\cos \alpha_{13} \cos \varphi + \sin \alpha_{13} \sin \varphi) - \\ &- L_{24}v(\cos \alpha_{24} \cos \varphi + \sin \alpha_{24} \sin \varphi) + L_{34}v(\cos \alpha_{34} \cos \varphi + \sin \alpha_{34} \sin \varphi) = \\ &= v[\cos \varphi(-L_{12} + L_{13} \cos \alpha_{13} - L_{24} \cos \alpha_{24} + L_{34} \cos \alpha_{34}) + \sin \varphi(L_{13} \sin \alpha_{13} - \\ &- L_{24} \sin \alpha_{24} - L_{34} \sin \alpha_{34})] \end{aligned} \quad (6)$$

Суми в круглих дужках виразів 6 і 7 є конструктивними константами, які визначимо

$$\begin{aligned} A_1 &= L_{12} + L_{14} \cos \alpha_{14} - L_{23} \cos \alpha_{23} - L_{34} \cos \alpha_{34}, \\ B_1 &= L_{14} \sin \alpha_{14} - L_{23} \sin \alpha_{23} - L_{34} \sin \alpha_{34}, \\ A_2 &= -L_{12} + L_{13} \cos \alpha_{13} - L_{24} \cos \alpha_{24} + L_{34} \cos \alpha_{34}, \\ B_2 &= L_{13} \sin \alpha_{13} - L_{24} \sin \alpha_{24} + L_{34} \sin \alpha_{34}. \end{aligned} \quad (8)$$

Вирази 6 і 7 приводяться до вигляду

$$\frac{(T_1 - T_3)C^2}{2} = v(A_1 \cos \varphi - B_1 \sin \varphi) \quad (9)$$

$$\frac{(T_2 - T_4)C^2}{2} = v(A_2 \cos \varphi - B_2 \sin \varphi) \quad (10)$$

Введемо позначення

$$\frac{T_1 - T_3}{T_2 - T_4} = \frac{A_1 \cos \varphi + B_1 \sin \varphi}{A_2 \cos \varphi + B_2 \sin \varphi} = p \quad (11)$$

Проведемо перетворення

$$\begin{aligned} A_1 \cos \varphi - p A_2 \cos \varphi &= p B_2 \sin \varphi - B_1 \sin \varphi, \\ (A_1 - p A_2) \cos \varphi &= (p B_2 - B_1) \sin \varphi, \end{aligned}$$

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{A_1 - p A_2}{p B_2 - B_1},$$

остаточно отримаємо

$$\varphi = \arctg \frac{A_1 - p A_2}{p B_2 - B_1} \quad (12)$$

Знаючи C з виразу 3 і φ з виразу 12, визначимо швидкість потоку по виразу 9

$$v_1 = \frac{(T_1 - T_3)C^2}{2(A_1 \cos \varphi + B_1 \sin \varphi)} \quad (13)$$

і (або) по виразу 10

$$v_2 = \frac{(T_2 - T_4)C^2}{2(A_2 \cos \varphi + B_2 \sin \varphi)} \quad (14)$$

Доцільно за кінцевий результат прийняти середню величину

$$\bar{v} = \frac{v_1 + v_2}{2} \quad (15)$$

Таким чином, викладений акустичний спосіб вимірювання швидкості потоку рідин і газів забезпечує незалежність результату вимірювання від затримок сигналів в трактах випромінювання та приймання, що підвищує точність вимірювань і (або) дозволяє зменшити розміри вимірювальних баз.

Можливі різні варіанти реалізації способу.

На Фіг.3 зображена структурна схема першого варіанта вимірника швидкості та напрямку потоку з імпульсними акустичними сигналами і паралельними каналами перетворення часових інтервалів в код. На Фіг.4 зображена структурна схема другого варіанта вимірника швидкості та напрямку потоку з імпульсними акустичними сигналами і перетворювачем часових інтервалів на базі мікропроцесора.

Перший варіант пристрою містить блок з чотирьох акустичних перетворювачів (випромінювачів-приймачів) 1 (БАП), комутатор 2 (К), генератор імпульсних сигналів 3 (ГІС), блок підсилювачів на приймання 4 (БП), генератор опорної частоти 5 (ГОЧ), блок перетворювачів часових інтервалів в код 6 (БПЧК) і мікропроцесор 7 (МП).

Блок 1 складається з чотирьох акустичних перетворювачів, розміщених у вершинах неправильного чотирикутника на площині, блок 4 складається з чотирьох паралельних підсилювачів на приймання, блок 6 складається з чотирьох паралельних перетворювачів часових інтервалів в код.

Електричні входи акустичних перетворювачів блока 1 сполучені з виходами комутатора 2, на вхід якого поданий вихід генератора імпульсних сигналів 3 і адреса - вхід якого сполучений з виходом мікропроцесора 7.

Вихід генератора опорної частоти 5 поданий на входи опорної частоти перетворювачів часових інтервалів в код блока 6.

Електричні входи акустичних перетворювачів подані на підсилювачі імпульсних сигналів блока 4, виходи яких сполучені з входами стопових сигналів перетворювачів часових інтервалів в код блока 6, входи стартових сигналів яких сполучені з виходом генератора імпульсних сигналів 3.

Виводи перетворювачів блока 6 подані на цифрові входи мікропроцесора 7.

Блок акустичних перетворювачів 1 характеризується конструктивними параметрами A_1, B_1, A_2, B_2 , які з геометричних розмірів схеми розташування перетворювачів обчислюються по формулах 8.

Пристрій працює таким чином. Генератор імпульсних сигналів 3 виробляє сигнал запуску акустичного перетворювача, який комутатором 2 по команді мікропроцесора 7 адресується і-ому акустичному перетворювачу, що випромінює акустичний сигнал в потоці в напрямі трьох інших акустичних перетворювачів. Одночасно цей сигнал є стартовим для всіх перетворювачів часових інтервалів в код блока 6.

Сигнал запуску проходить передавальний тракт і-го випромінювача за час τ_{ui} , базову відстань в потоці за час $\frac{L_{ij}}{C \pm v_{ij}}$, приймальний тракт j-го

приймача та підсилювач за час τ_{nj} і як столовий сигнал поступає на входи перетворювачів часових інтервалів τ_{ij} в код. У кожному такті акустичний сигнал сприймається трьома акустичними перетворювачами, проходить три канали посилення на три перетворювачі час-код.

Код часових інтервалів τ_{ij} поступає на мікропроцесор.

Цикл вимірювання містить чотири такти і дає 12 відліків τ_{ij} , $i = \overline{1,4}$; $j = \overline{1,4}$; при $i \neq j$, відповідних системі рівнянь 1.

Далі кут φ між напрямом швидкості потоку і променем від акустичного перетворювача 1₁ до акустичного перетворювача 1₂ визначається мікропроцесором по виразу 12, з використанням виразів 2, 4, 11.

Швидкість потоку визначається по виразу 15 з використанням виразів 2, 3, 13 і 15.

Другий варіант пристрою, що реалізовує акустичний спосіб вимірювання швидкості та напрямку потоку, структурна схема якого зображена на Фіг.4, доцільний при використанні високопродуктивного мікропроцесора, здатного виконати функції перетворення часових інтервалів в код і необхідні обчислювальні операції.

У склад пристрою входять блок акустичних перетворювачів 1 (БАП), блок підсилювачів випромінювачів 2 (БПВ), блок підсилювачів приймачів 3 (БПП), регістр випромінювання 4 (РВ), регістр приймання 5 (РП) і мікропроцесор 6 (МП).

Регістр випромінювання 4 має чотири розряди, кожний розряд по виходу сполучений з входом одного з підсилювачів випромінювачів 2.

Регістр випромінювання 4 призначений для селекції одного з чотирьох акустичних перетворювачів на передачу появою сигналу «1» у відповідному розряді регістра.

Регістр приймання 5 служить для фіксації при-

ходу сигналу у відповідному каналі установкою сигналу «1» у відповідному розряді.

Відрізок часу між появою «1» в i -ому розряді РВ і появою «1» в j -ому розряді РП відповідає значенню, що фіксується τ_{ij} .

Пристрій працює таким чином. У кожному такті мікропроцесор встановлює на РВ код зі значенням «1» в i -ому розряді. При цьому 1-ий акустичний перетворювач посилає імпульсний сигнал на три інші акустичні перетворювачі.

Прийняті ними сигнали через підсилювачі БПП в різний час поступають на входи j -их розрядів ($j = \overline{1,4}$, $i \neq j$) РП і встановлюють в них значення «1».

Мікропроцесор 6 перетворює в код і фіксує часові інтервали τ_{ij} . Ці значення далі використовуються для обчислення швидкості звуку, напрямку та швидкості течії аналогічно вищевикладеному.

Джерела інформації:

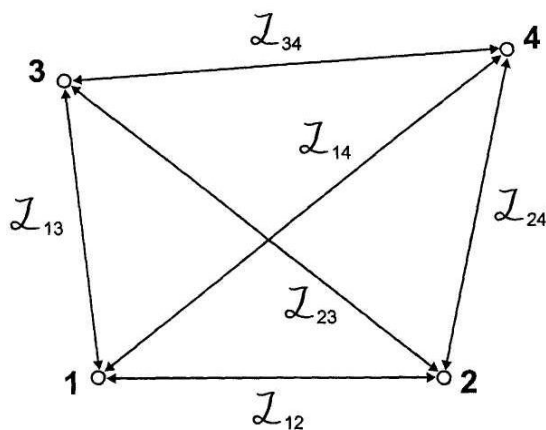
1. Авторське свідоцтво СРСР №690392 кл. G01P5/08, опубліков. 05.10.79 Бюл. №37. Акустичний вимірник швидкості течії. Автори: В.М. Кушнір, Ю.М. Колтаков.

2. Принципи побудови технічних засобів дослідження океану. М.: Наука, 1981, 324 с., С.29-31.

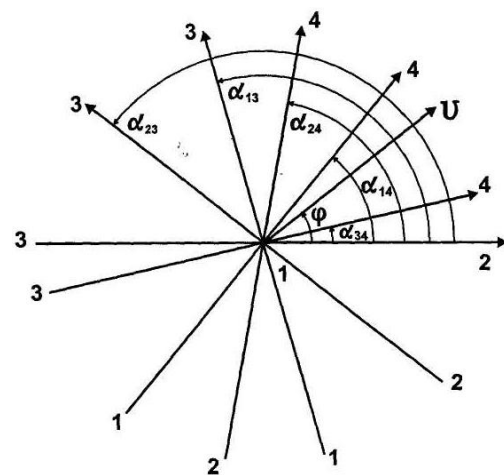
3. Сучасні методи і засоби вимірювання гідрологічних параметрів океану / Парамонов А.М., Кушнір В.М., Забурдаєв В.І. Київ: Наукова думка, 1979., 248с, С.139.

4. Акустичний вимірник швидкості та напрямку вітру Wind Sonic SDY-12 фірми Gill Instruments, проспект 144 фірми Gill Instruments, International Environmental Technology, vol 13 Issue 5, September/October 2003, P.43.

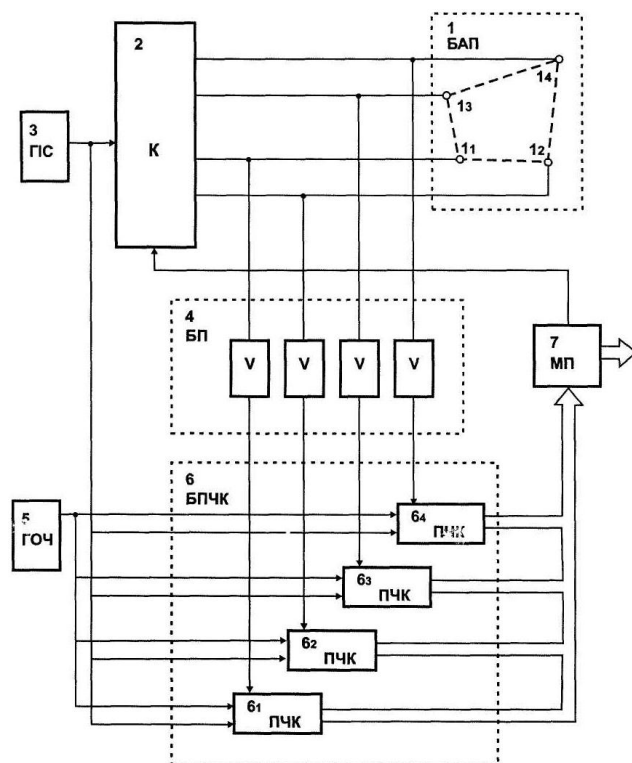
5. Авторське свідоцтво СРСР №1136081, кл. G01P5/00. Пристрій для вимірювання швидкості течії. Кушнір В.М. Опубл. 23.01.85 Бюл. №3 (прототип).



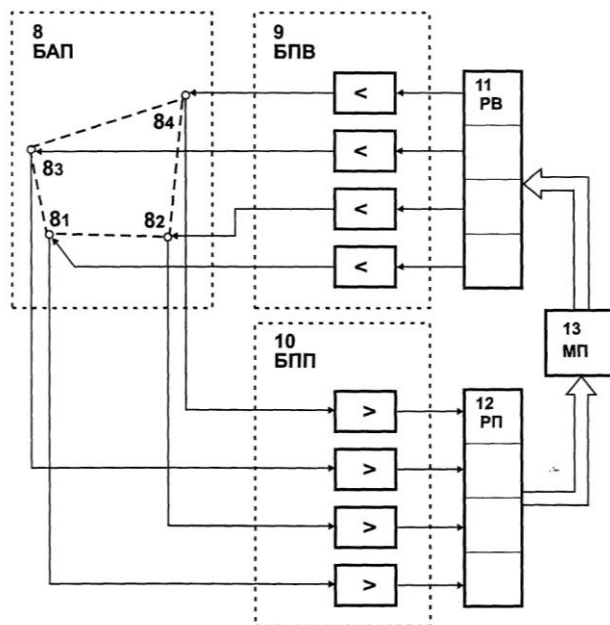
Фіг. 1



Фіг. 2



Фиг. 3



Фиг. 4