



ДЕРЖАВНА СЛУЖБА  
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ  
ВЛАСНОСТІ  
УКРАЇНИ

УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **104765** (13) **C2**  
(51) МПК  
**G01P 5/10** (2006.01)

## (12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА ВІНАХІД

(21) Номер заявки: **а 2012 01049**  
(22) Дата подання заявки: **01.02.2012**  
(24) Дата, з якої є чинними права на винахід: **11.03.2014**  
(41) Публікація відомостей про заявку: **10.04.2013, Бюл.№ 7**  
(46) Публікація відомостей про видачу патенту: **11.03.2014, Бюл.№ 5**

(72) Винахідник(и):  
**Гайський Віталій Олександрович (UA),**  
**Гайський Павло Віталійович (UA)**  
(73) Власник(и):  
**МОРСЬКИЙ ГІДРОФІЗИЧНИЙ ІНСТИТУТ**  
**НАЦІОНАЛЬНОЇ АКАДЕМІЇ НАУК**  
**УКРАЇНИ,**  
вул. Капітанська, 2, м. Севастополь, 99000 (UA)  
(74) Представник:  
**Фоміна Ганна Георгіївна, зав. відділом**  
**інтелектуальної власності МГІ НАН**  
**України**  
(56) Перелік документів, взятих до уваги експертизою:  
UA 79833 C2, 25.07.2007  
UA 15275 U, 15.06.2006  
UA 49035 C2, 16.09.2002  
RU 2369875 C2; 10.09.2007  
DE 19623323 A1, 23.10.1997  
EP 0285451 A1, 05.10.1988  
US 4885937 A, 12.12.1989  
JP 2007232597 A, 13.09.2007  
Дерюгин К. К., Степанюк И. А. Морская гидрометрия. - Л.: Гидрометеиздат, 1974. - 285 с.  
Петухов Б. С. Опытное изучение процессов теплопередачи. ГЭИ., М. - Л. - 1952. - 344 с.  
Макс Ж. Методы и техника обработки сигналов при физических измерениях. В 2-х томах. Пер. с франц. - М.: "Мир", 1983. - Т. 1. - 312 с.  
Бендат Дж. Основы теории случайных шумов и ее применения. М., "Наука", 1965. - 465 с.  
Мясников В. И. Измерение расхода и объема воды. Мир измерений. - 2001. - № 3, 4. - С. 4-9.  
Лангс Ф. Корреляционная электроника: Основы и применение корреляционного анализа в современной технике связи, измерений и регулирования. - Л.: Госсудпромиздат, 1969. - 342 с.  
Хинце И. О. Турбулентность. М. - Л., Физматгиз, 1963. - 680 с.

UA 104765 C2

## (54) СПОСІБ ВИМІРЮВАННЯ ШВИДКОСТІ НАПРАВЛЕНОГО ПОТОКУ РІДИНИ АБО ГАЗУ

(57) Реферат:

Заявлений спосіб вимірювання швидкості направленого потоку рідини або газу, заснований на використанні перенесення міток потоком, полягає у використанні первинного вимірювального перетворювача міток в потоці з рівномірно розподіленою вимірювальною базою довжиною  $L$ , розміщеною в потоці під відповідним кутом до напрямку потоку. Подають вихідний сигнал  $R(t)$  первинного вимірювального перетворювача через вторинний вимірювальний перетворювач на спектроаналізатор. Обчислюють поточну за час  $T$  функцію спектральної щільності  $S_R(t)$  сигналу  $R(t)$ . Визначають частоти  $f_i$ , на яких функція  $S_R(f)$  має мінімум. Нумерують частоти  $f_i$  в порядку зростання від  $f_0 = 0$  до  $f_i = 1, 2, \dots, n$  і обчислюють середню за час  $T$  швидкість потоку  $\overline{V_T}$  за формулою

$$\overline{V_T} = \frac{2}{n} \sum_{i=1}^n L(f_i - f_{i-1}) \cos \alpha.$$

Винахід належить до вимірювальної техніки, призначений для використання в гідрометеорології і може бути використаний для вимірювання витрати рідини або газу в трубопроводах.

Відомі кореляційні способи вимірювання швидкості потоку, засновані на оцінці часу перенесення міток (неоднорідності і (або) суспензії) потоком на відстань між двома фіксованими точками по максимуму кореляційної функції [1].

Як мітки використовуються просторові неоднорідності температури, швидкості, пульсації тиску, коефіцієнта теплообміну датчика з середовищем, густина середовища, електропровідність, концентрації різних розчинених речовин і завислих частинок.

Недоліком кореляційних способів вимірювання швидкості потоку є труднощі технічної реалізації точкових датчиків міток з високою швидкодією.

Відомі спектральні способи вимірювання швидкості потоку в точці по доплерівському зсуву частоти відображеного від міток акустичного сигналу [2].

Недоліком доплерівських способів вимірювання швидкості потоку є залежність результату вимірювання від швидкості звуку в середовищі, що обмежує точність вимірювання.

Аналогів заявленого винаходу заявником не виявлено.

У основу винаходу поставлено задачу створення способу вимірювання швидкості направленного потоку рідини або газу, сукупністю суттєвих ознак якого досягається технічний результат - підвищення точності, спрощення технічної реалізації способу вимірювання швидкості потоку і розширення областей застосування.

Поставлена задача вирішується тим, що використовують первинний вимірювальний перетворювач міток в потоці з рівномірно розподіленою вимірювальною базою довжиною  $L$  (контактний або безконтактний), розміщують вимірювальну базу в потоці під відомим кутом  $\alpha$  ( $0 \leq \alpha \leq 90^\circ$ ) до напрямку потоку, подають вихідний сигнал  $R(t)$  первинного вимірювального перетворювача (ПВП) через вторинний вимірювальний перетворювач (ВВП) на спектроаналізатор, обчислюють відомим способом поточну за час  $T$  функцію спектральної щільності сигналу  $S_R(f)$ , визначають частоти  $f_i$ , на яких функція  $S_R(f_i)$  має мінімуми, нумерують частоти  $f_i$  в порядку зростання від  $f_0 = 0$  до  $i = \overline{1, n}$ , обчислюють середню за час  $T$  швидкість потоку  $\overline{V_T}$  за формулою

$$\overline{V_T} = \frac{2}{n} \sum_{i=1}^n L(f_i - f_{i-1}) \cos \alpha \cdot (1)$$

Суть способу пояснюється кресленнями, на яких зображено:

- на фіг. 1 - розміщення рівномірно розподіленої бази первинного вимірювального перетворювача міток в направленому потоці;

- на фіг. 2 - схема перенесення потоком просторових міток (неоднорідностей) уздовж вимірювальної бази;

- на фіг. 3 - схема трансформації просторової неоднорідності міток  $\theta(x)$  в часовий процес  $\theta(t)$  в первинному вимірювальному перетворювачі, що здійснює ковзаюче усереднювання;

- на фіг. 4 - графік квадрата модуля передавальної функції розподіленого первинного вимірювального перетворювача при постійній швидкості потоку;

- на фіг. 5 - графік функції спектральної щільності  $S_\theta(f)$ , яку мав би сигнал на виході точкового безінерційного первинного вимірювального перетворювача, що сприймає неоднорідності міток, які переносяться потоком;

- на фіг. 6 - графік квадрата модуля передавальної функції розподіленого первинного вимірювального перетворювача при нестационарній швидкості потоку;

- на фіг. 7 - графік функції спектральної щільності  $S_R(f)$  сигналу  $R(t)$  на виході розподіленого первинного (і вторинного) вимірювального перетворювача;

- на фіг. 8 - трансформація частотного діапазону сигналу  $R(f)$  в робочому діапазоні вимірюваних стаціонарних швидкостей;

- на фіг. 9 - трансформація функції спектральної щільності  $S_R(f)$  сигналу  $R(t)$  в робочому діапазоні нестационарних швидкостей;

- на фіг. 10 - узагальнена структурна схема типового пристрою для здійснення способу;

- на фіг. 11 - структурна схема пристрою для реалізації способу при використанні міток температури і коефіцієнта теплообміну датчика з середовищем з розподіленим первинним вимірювачем температури, що підігрівається;

- на фіг. 12 - структурна схема пристроїв для вимірювання профілю швидкості потоку з розподіленим термопрофілеміром з підігрівом (а) і без підігріву (б);

- на фіг. 13 - структурні схеми пристроїв для реалізації способу при використанні міток пульсацій тиску з двома датчиками абсолютного тиску (а) і одним датчиком різницевого тиску (б);

- на фіг. 14 - структурна схема пристрою для реалізації способу при використанні міток неоднорідності електропровідності з розподіленим чотириелектродним датчиком електропровідності;

- на фіг. 15 - структурна схема пристрою для реалізації способу при використанні міток неоднорідності коефіцієнта ослаблення направленої світла на базі прозороміра;

- на фіг. 16 - структурна схема пристрою для реалізації способу при використанні неоднорідності коефіцієнта ослаблення направленої звуку з джерелом і приймачем акустичного сигналу;

- на фіг. 17 - типові графічні залежності необхідної смуги частот  $\Delta f$  вимірника і мінімального часу виміру  $T$  залежно від довжини  $L$  вимірювальної бази при реалізації способу для виміру швидкостей в конкретному діапазоні.

Суть запропонованого способу вимірювання швидкості потоку полягає в наступному.

У способі використовується властивість розподіленого первинного вимірювального перетворювача виконувати ковзаюче усереднювання в часі переносимих уздовж нього потоком просторових неоднорідностей вимірюваної величини (міток). Розподілена вимірювальна база (РВБ) первинного вимірювального перетворювача міток розміщується в потоці під кутом  $\alpha$  до напрямку вектора швидкості  $\vec{V}$  ( $0 \leq \alpha \leq 90^\circ$ ) (фіг. 1). При цьому швидкість міток в потоці уздовж вимірювальної бази  $V_\alpha$  складе

$$V_\alpha = V \cos^{-1} \alpha. \quad (2)$$

Просторовий розподіл міток  $\theta(x)$  переноситься уздовж вимірювальної бази з швидкістю  $V_\alpha$  (фіг. 2), усереднюється на базі  $L$  і перетворюється в часовий сигнал  $R(t)$  на виході первинного вимірювального перетворювача відповідно до рівняння згортки (фіг. 3)

$$R(t) = \frac{1}{L} \int_0^L \theta(x, t) dx = \frac{1}{\tau} \int_{t-\tau}^t \theta(t) dt = \frac{1}{\tau} \int_{-\infty}^{\infty} \Pi_r(t - \tau) \theta(t) dt, \quad (3)$$

де  $\Pi_r(t)$  - прямокутна функція, рівна 1 на інтервалі  $(t - \tau, t)$ , і нулю поза цим інтервалом

$$\tau = LV_\alpha^{-1}. \quad (4)$$

У операторній формі

$$R(p) = H(p) \theta(p) = \frac{\sin \pi f \tau}{\pi f \tau} \exp(j \pi f \tau) \theta(p). \quad (5)$$

Первинний вимірювальний перетворювач міток з рівномірно розподіленою базою є ланкою ковзаючого середнього на інтервалі часу  $\tau$ , квадрат модуля амплітудно-частотної характеристики (АЧХ) якого рівний

$$|H(2\pi f)|^2 = \left| \frac{\sin 2\pi f \tau}{2\pi f \tau} \right|^2 = \left| \frac{\sin 2\pi f LV_\alpha^{-1}}{2\pi f LV_\alpha^{-1}} \right|^2. \quad (6)$$

Як видно з графіка  $|H(f)|^2$  на фіг. 4, модуль АЧХ має нулі на частотах  $f_i = \frac{L}{2\tau}$  з інтервалом

$$\Delta f_i = f_i - f_{i-1}, i = 1, 2, \dots, \text{ причому}$$

$$2(\Delta f)_i \tau = 2(\Delta f)_i LV_\alpha^{-1}. \quad (7)$$

Звідси

$$V_i = V_\alpha \cos \alpha = 2(\Delta f)_i L \cos \alpha = 2L(f_i - f_{i-1}) \cos \alpha. \quad (8)$$

Для ідентифікації  $|H(f)|^2$  і визначення  $f_i$ , вхідний для первинного вимірювального перетворювача сигнал міток  $\theta(t)$  повинен мати спектр  $S_\theta(f)$ , що покриває одну або декілька смуг  $(f_i - f_{i-1})$  (фіг. 5). Для цього перед первинним вимірювальним перетворювачем в потоці при необхідності встановлюють спеціальний турбулізатор.

Незалежно від спектра  $S_0(f)$ , спектр вихідного сигналу  $S_R(f)$  матиме нулі на тих же частотах  $f_i$ , що і  $|H(f)|^2$ . Оскільки ідентифікація  $\Delta f$  зажадає деякого часу  $T$ , те значення швидкості перенесення міток  $v_\alpha$  уздовж вимірювальної бази за цей час не буде постійним і замість нулів  $|H(2\pi f)|^2$  матимуть місце локальні мінімуми (фіг. 6), відповідні яким частоти  $f_i$ ; слід визначати при аналізі функції спектральної щільності  $S_R(f)$  (фіг. 7) вихідного сигналу первинного вимірювального перетворювача  $R(t)$ , причому

$$S_R(2\pi f) = |H(2\pi f)|^2 S_0(2\pi f). \quad (9)$$

У цьому загальному випадку  $\Delta f_i$ , будуть випадковими величинами, і доцільно узяти їх середнє значення по виразу

$$\overline{\Delta f_i} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (f_i - f_{i-1}),$$

де  $i = 1, 2, \dots, n$ .

Для середньої швидкості потоку, враховуючи вирази (1) і (8), отримаємо

$$\overline{V_T} = \frac{2L \cos \alpha}{n} \sum_{i=1}^n (f_i - f_{i-1}). \quad (11)$$

Діапазон вимірюваних швидкостей  $V_{\max} - V_{\min}$  визначає діапазон можливих частот в одному вікні  $(f_{i \max} - f_{i \min}) = (V_{\alpha \max} - V_{\alpha \min}) L^{-1} = (V_{\max} - V_{\min}) \cos^{-1} \alpha L^{-1}$ .

Як видно з останнього виразу, широкосмугість вхідного для ПВП сигналу  $\theta(t)$  можна забезпечити за рахунок установки кута  $\alpha$ , при  $\alpha \rightarrow 90^\circ$  отримаємо  $(f_{1 \max} - f_{1 \min}) \rightarrow \infty$ .

Оскільки розрішення по частоті  $\Delta f = T^{-1}$ , то для заданого числа рівнів  $N$  по вимірюваній швидкості можемо записати

$$N \leq (f_{1 \max} - f_{1 \min}) T^{-1} \quad (12)$$

Для необхідного часу вимірювання отримаємо

$$T \geq \frac{N}{(f_{1 \max} - f_{1 \min})} \quad (13)$$

З виразу (13) видно, що із збільшенням  $\Delta f \rightarrow \infty$  отримаємо  $T \rightarrow 0$ . З виразів (8) і (11) видно, що, в принципі, для визначення швидкості потоку досить визначити ширину будь-якого одного з  $n$  частотного вікна  $\Delta f_i = f_i - f_{i-1}$ .

Типові просторові спектри основних параметрів водних середовищ в спадаючій частині добре апроксимуються статечними законами вигляду  $|k|^{-m}$ , де показник  $m$  приймає значення від 1 до 5, тобто є нескінченними [3]. При перенесенні міток потоком щодо первинного вимірювального перетворювача ці просторові спектри трансформуватимуться в тимчасові спектри, також нескінченні. Безконтактні первинні вимірювальні перетворювачі, що використовують випромінювання, можуть бути зроблені майже безінерційними. Отже, для підвищення швидкодії вимірювання швидкості потоку пропонуванням способом немає принципових обмежень, окрім чутливості і швидкодії електроніки обрамлення первинного вимірювального перетворювача.

Якщо первинний вимірювальний перетворювач має модуль  $|G(2\pi f)|$  передавальної функції  $G(p)$ , то замість виразу (6) слід використовувати

$$|H_1(2\pi f)|^2 = \left| \frac{\sin \pi f \tau}{\pi f \tau} \cdot G(2\pi f) \right|^2. \quad (14)$$

При монотонно спадаючій  $G(2\pi f)$ , що характерний для всіх інерційних перетворювачів, положення мінімумів функцій  $|H_1(2\pi f)|^2$  і  $|H(2\pi f)|^2$  не зміниться і, отже, частоти  $f_i$ , залишаться тим самим.

Розглянемо варіанти реалізації способу при використанні різних сигналів міток в потоці.

Узагальнена структурна схема типового пристрою для здійснення способу представлена на фіг. 10.

До складу пристрою (фіг. 10) входять: огорожа 1 первинного вимірювального перетворювача (ПВП) 2 з розподіленою базою, вторинний вимірювальний перетворювач (ВВП) 3, частотний фільтр (ЧФ) 4, аналого-цифровий перетворювач (АЦП) 5 і обчислювач (О) 6. Огорожа 1 служить для фіксації напрямку потоку і розміщення вимірювальної бази ПВП 2 в потоці під заданим кутом  $\alpha$  до напрямку вектора швидкості.

Контактний ПВП 2 перетворює середнє значення сигналу міток на розподіленій вимірювальній базі в електричний сигнал. У безконтактному ПВП 2 проводиться модуляція мітками потоку інформативного параметра променя якого-небудь випромінювання, наприклад, оптичного або акустичного.

Безконтактний ПВП 2 містить джерело і приймач випромінювання, які можуть бути суміщені при використанні відображеного сигналу.

Вторинний вимірювальний перетворювач 3 перетворює інформативний параметр сигналу ПВП 2 в сигнал, зручний для фільтрації частотним смуговим або нижніх частот фільтром ЧФ 4 і, якщо це необхідно, подальшого аналого-цифрового перетворення АЦП 5.

При використанні фільтра нижніх частот його частота зрізу повинна бути поблизу  $f_{i\max}$  справа, при використанні смугового фільтра - декілька ширше за смугу  $f_i - f_{i-1}$ . Частота дискретизації  $f_0$  АЦП повинна задовольняти нерівності  $f_0 > 2f_{i\max}$  або  $f_0 > 2n\Delta f$ . Вибір значення  $n \geq 1$  проводять з наявності спектральних складових сигналу міток в потоці в робочій смузі частот. Обчислювач 6 служить для визначення функції спектральної щільності  $S_R(2\pi f)$  і

частот  $f_i, i = \overline{1, n}$ . У пристрої може бути використаний як О 6 аналоговий спектроаналізатор для обчислення  $S_R(f)$ , в цьому випадку АЦП 5 відсутній.

При використанні цифрового спектроаналізатора як О 6 на нього може бути покладена частина завдання смугової фільтрації сигналу  $R(t)$ . Всі вузли електроніки 3-6 спільно утворюють блок електроніки БЕ 7, який входить до складу всіх пристроїв, що здійснюють викладений спектральний спосіб вимірювання швидкості потоку.

Робота типового пристрою полягає в ковзаючому усереднюванні сигналу міток на розподіленій вимірювальній базі, обчисленні функції спектральної щільності сигналу з виходу первинного вимірювального перетворювача, визначенні частот  $f_i$ , на яких ця функція має мінімум, і обчисленні середньої швидкості потоку за формулою (11).

Різні варіанти пристроїв для реалізації способу залежать від середовища потоку, природи сигналу міток в потоці, виду первинного вимірювального перетворювача і представлені на фіг. 11 - 16.

Технічні характеристики пристроїв для реалізації способу залежать від діапазону вимірюваних швидкостей, параметрів перетворювачів і обчислювача, що входять в їх склад.

Розглянемо очевидні для фахівців приклади пристроїв для здійснення запропонованого способу вимірювання швидкості потоку рідини або газу, що відрізняються природою використовуваного сигналу влучний в потоці і типом первинного вимірювального перетворювача цього сигналу в електричний.

Відомо [4, 5], що потоки рідин і газів мають неоднорідності температури і швидкості, які можуть служити мітками. Для знімання сигналу міток неоднорідності температури використовують розподілений первинний вимірювальний перетворювач температури 2, який встановлюють на вимірювальній базі під відомим кутом  $\alpha$  до вектора швидкості потоку (фіг. 10).

Для знімання сигналу міток неоднорідності швидкості використовують встановлюваний розподілений первинний вимірювальний перетворювач температури, що також підігрівається робочим струмом або вбудованим нагрівачем 2 (фіг. 11), який, будучи чутливим до зміни коефіцієнта теплообміну, сприйматиме також мітки неоднорідності фізичних параметрів середовища: щільності, теплоємності, теплопровідності, кінематичній в'язкості.

При вимірюванні профілю швидкості по перетину потоку як первинний вимірювальний перетворювач використовують розподілені термопрофілемір 2 з підігрівом або без, який встановлюють аналогічно розподіленому вимірникові температури (фіг. 12).

Гідродинамічні неоднорідності в потоці рідини як мітки виявляються в пульсаціях гідростатичного тиску, для вимірювання середнього значення яких на розподіленій вимірювальній базі на її межах розміщують два датчики абсолютного гідростатичного тиску (фіг. 13 а) або два входи одного датчика різниці тиску (фіг. 13 б). На відміну від відомих вимірників швидкості [5] з вимірюванням перепаду тиску до і після діафрагми, в даному вимірнику обидва датчики встановлюють без або після діафрагми.

Якщо середовище потоку має електропровідність, то просторові неоднорідності температури і фізичних параметрів середовища в потоці приведуть до локальних

неоднорідностей електропровідності, які як мітки вимірюють розподілені первинним вимірювальним перетворювачем електропровідності, наприклад, чотириелектродним, потенційні електроди (ПЕ) якого встановлюють на межах вимірювальної бази, а струмові електроди (ТЕ) поза нею, як це показано на фіг. 14.

5 Фактично це відомий чотириелектродний датчик електропровідності в трубковому виконанні [6], використаний для реалізації способу вимірювання швидкості течії.

Гідродинамічні неоднорідності в потоці сприяють створенню неоднорідності розчинених і зважених речовин, що є мітками для випромінювань, що проходять через потік, наприклад, оптичних і акустичних, інформативним параметром яких є коефіцієнт ослаблення світла в певних спектральних вікнах або ослаблення звуку на певних частотах.

Використовувані в даний час вимірники показника ослаблення направленої світла (прозороміри) [6], мають розподілену вимірювальну базу між джерелом і приймачем направленої світла або між джерелом-приймачем і трипель-призмою.

15 Такі прозороміри можна використовувати для здійснення спектрального способу вимірювання швидкості потоку, розмістивши їх джерело (И) і приймач (П), вимірювальну базу в огорожі потоку і модуль електроніки (МЕ) 8 перед БЕ 7 по схемі на фіг. 15. Ослаблення направленої світла в середовищі відбувається згідно із законом Бугера [7], відповідно до якого інтенсивність сигналу  $I(t)$  на вході (виході) приймача пов'язана з інтенсивністю сигналу на виході джерела  $I_0(t)$  за формулою

$$20 \quad I(t) = I_0(t) e^{-\lambda(x)dx}, \quad (15)$$

де  $\lambda(x)$  - коефіцієнт ослаблення світла.

З виразу (15) можемо записати

$$\int_0^L \lambda(x,t) dx = -\ln[I(t)/I_0(t)] = y(t). \quad (16)$$

Оскільки  $I(t) \leq I_0(t)$ , то  $y(t) = \ln \left[ \frac{I_0(t)}{I(t)} \right]$  - вихідний сигнал прозороміру, причому

$$25 \quad y(t) = \frac{1}{L} \int_0^L \lambda(x,t) dx = \frac{1}{\tau} \int_{-\infty}^{\infty} \Pi_r(t) \lambda(t) dt. \quad (17)$$

Переходячи до операторної форми запису виразу (17), отримаємо вираз

$$y(p) = \frac{\sin 2\pi f}{2\pi f} \exp\left(j \frac{\pi f \tau}{4}\right) \lambda(p). \quad (18)$$

Отже, квадрат модуля амплітудно-частотної характеристики вимірювального перетворювача прозороміра з вихідним сигналом  $y(t)$  відповідає виразу (6), а функція спектральної щільності  $S_y(2\pi f)$  сигналу  $y(t)$ , аналогічно виразу (9), рівна

$$30 \quad S_y(2\pi f) = |H(2\pi f)|^2 S_\lambda(2\pi f) \quad (19)$$

і має мінімуми (нулі) на частотах, що фіксуються  $f_i$ ,  $i = 1, 2, \dots, n$ . Далі справедливі формули (7), (8), (10), (11).

35 При реалізації акустичного вимірника швидкості потоку за спектральним способом передавач і приймач сигналу розміщуються на межах вимірювальної бази. Для вузького акустичного променя інтенсивність звуку на вході приймача  $I(t)$  пов'язана з інтенсивністю звуку на виході передавача  $I_0(t)$  за формулою

$$I(t) = I_0(t) \int_0^L k(x,t) dx, \quad (20)$$

де  $k(x)$  - просторовий розподіл коефіцієнта загасання.

40 По аналогії з вищевикладеним отримаємо

$$y(t) = \frac{I(t)}{I_0(t)} = \frac{1}{\tau} \int_{-\infty}^{\infty} \Pi_r(t) k(t) dt \quad (21)$$

або в операторній формі

$$y(p) = \frac{\sin 2\pi f}{2\pi f} \exp\left(j \frac{\pi f \tau}{4}\right) k(p). \quad (22)$$

Для ФСП сигналу  $y(t)$  отримаємо

$$S_y(2\pi f) = |H(2\pi f)|^2 S_k(2\pi f), \quad (23)$$

яка матиме мінімуми (нулі) на частотах, що фіксуються  $f_i$ ,  $i=1,2,\dots,n$ . Далі справедливі формули (7), (8), (10), (11).

5 У структурну схему акустичного пристрою вимірювання швидкості потоку за спектральним способом (фіг. 16) замість вторинного вимірювального перетворювача входить модуль електроніки (МЕ) 8 у складі приймачів-передавачів, що забезпечує вироблення сигналу  $y(t)$  для БЕ 7.

Здійснюють заявлений спосіб наступним чином.

10 Приклад 1

Вимірювання швидкості течії природних вод, типовий діапазон швидкостей  $(0,02 \div 5) \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$ .

Задамося розрішенням за швидкістю 1% ( $N=100$ ), приймемо кут нахилу розподіленої вимірювальної бази до напрямку вектора швидкості потоку  $\alpha = 45^\circ$ . Використовуючи вираз (8) можемо визначити перший частотний діапазон  $(f_{1\max} - f_{1\min})$ , ширину частотного вікна

15  $\Delta f \approx f_{1\max}$  і по виразу (12) необхідний час вимірювання в першому частотному діапазоні ( $n=1$ ) при використанні можливих вимірювальних баз різної довжини  $L$  від 0,01 до 10 м. Графіки цих функцій  $\Delta f_B = \varphi(L)$  і  $T_B = \varphi(L)$  в логарифмічному масштабі показані на фіг. 17.

20 З міркувань спадкоємності просторового усереднювання вимірювань з існуючими приладами (наприклад, гідрометричними вертушками) і зручності експлуатації приймаємо  $L = 0,1 \text{ м}$ .

З графіка (фіг. 17), і по формулах, визначаємо потрібне  $\Delta f_B \geq 71,4 \text{ Гц}$  і  $T_B \geq 1,4 \text{ с}$ . Вимоги наявності смуги частот пропускання більше 71,4 Гц можуть бути задоволені використанням таких первинних вимірювальних перетворювачів: розподілений датчик температури, що підігрівається, розподілений термопрофілемір з підігрівом, датчик різницевого тиску, розподілений датчик електропровідності (для морської води), датчик прозороміру, вимірник коефіцієнтів ослаблення акустичного сигналу.

Типовий прийнятий час усереднювання при вимірюванні течій  $(20 \div 100) \text{ с}$  може бути забезпечений накопиченням відліків.

Приклад 2

30 Вимірювання швидкості вітру в типовому діапазоні швидкостей  $(1,2 \div 60) \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$ .

Аналогічно викладеному вище в прикладі 1 приймаємо  $N=100$  і  $\alpha=0^\circ$ , розраховуємо функції  $\Delta f_\alpha = \varphi(L)$ ,  $T_\alpha = \varphi(L)$  і будуємо ці графічні залежності на фіг. 17.

З міркувань практичної доцільності приймаємо довжину вимірювальної бази  $L = 0,3 \text{ м}$ .

35 Визначаємо  $\Delta f_\alpha \geq 200 \text{ Гц}$  і  $T_\alpha \geq 0,51 \text{ с}$ . Вимога наявності смуги частот пропускання вище 200 Гц може бути задоволене використанням як первинні вимірювальні перетворювачі датчиків різницевого тиску, прозороміру і вимірника коефіцієнта ослаблення акустичного сигналу.

Основною гідністю заявленого способу, при будь-якому його технічному втіленні, є простота апаратурної реалізації в обмін на відносну складність обробки вимірювальних сигналів, прийнятну на сучасному рівні техніки.

40 Список джерел інформації:

1. Лангс Ф. Корреляционная электроника: Основы и применение корреляционного анализа в современной технике связи, измерений и регулирования. - Л.: Госсудпромиздат, 1969. - 342 с.

2. Мясников В. И. Измерение расхода и объема воды. Мир измерений. - 2001. - № 3, 4. - С. 4-9.

45 3. Бендат Дж. Основы теории случайных шумов и ее применения. М., «Наука», 1965. - 465 с.

4. Хинце И. О. Турбулентность. М. - Л., Физматгиз, 1963. - 680 с.

5. Макс Ж. Методы и техника обработки сигналов при физических измерениях. В 2-х томах. Пер. с франц. - М.: «Мир», 1983. - Т. 1. - 312 с.

6. Петухов Б. С. Опытное изучение процессов теплопередачи. ГЭИ., М. - Л. - 1952. - 344 с.

50 7. Дерюгин К. К., Степанюк И. А. Морская гидрометрия. - Л.: Гидрометеиздат, 1974. - 285 с.

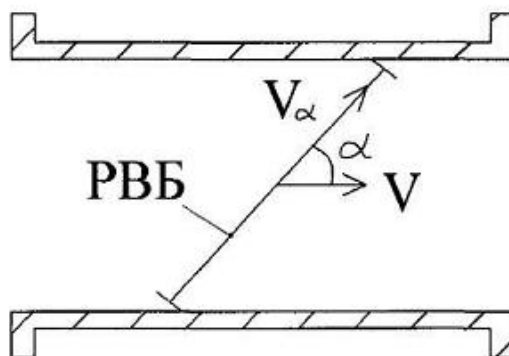


ФОРМУЛА ВИНАХОДУ

1. Спосіб вимірювання швидкості направленого потоку рідини або газу, заснований на використанні перенесення міток потоком, полягає в тому, що використовують огорожу, в якій розташований первинний вимірювальний перетворювач міток в потоці з рівномірно розподіленою вимірювальною базою довжиною  $L$ , розміщеною в потоці під кутом  $0 \leq \alpha \leq 90^\circ$  до напрямку потоку, при цьому подають вихідний сигнал  $R(t)$  первинного вимірювального перетворювача через вторинний вимірювальний перетворювач на аналоговий спектроаналізатор, обчислюють поточну за час  $T$  функцію спектральної щільності  $S_R(t)$  сигналу  $R(t)$ , визначають частоти  $f_i$ , на яких функція  $S_R(f)$  має мінімум, нумерують частоти  $f_i$  в порядку зростання від  $f_0 = 0$  до  $f_i = 1, 2, \dots, n$  і обчислюють середню за час  $T$  швидкість потоку  $\overline{V_T}$  за формулою

$$\overline{V_T} = \frac{2}{n} \sum_{i=1}^n L(f_i - f_{i-1}) \cos \alpha.$$

2. Спосіб за п. 1, який **відрізняється** тим, що як мітки використовують неоднорідності температури в потоці, а як первинний вимірювальний перетворювач - розподілений датчик температури.
3. Спосіб за п. 1, який **відрізняється** тим, що як мітки використовують неоднорідності температури і коефіцієнта теплообміну в потоці, а як первинний вимірювальний перетворювач - розподілений датчик температури, що нагрівається.



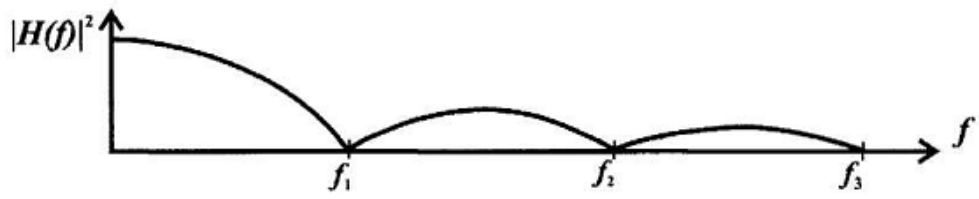
Фиг. 1



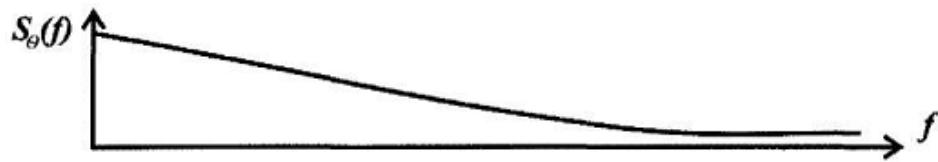
Фиг. 2



Фиг. 3



Фиг. 4



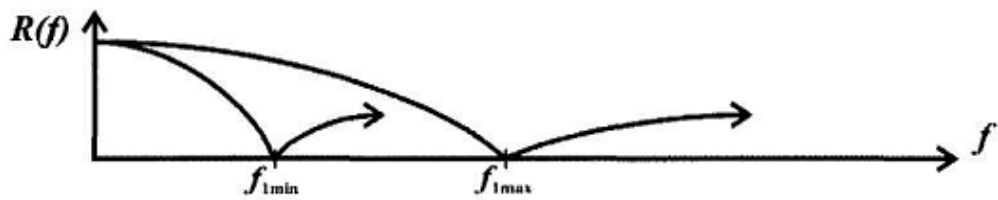
Фиг. 5



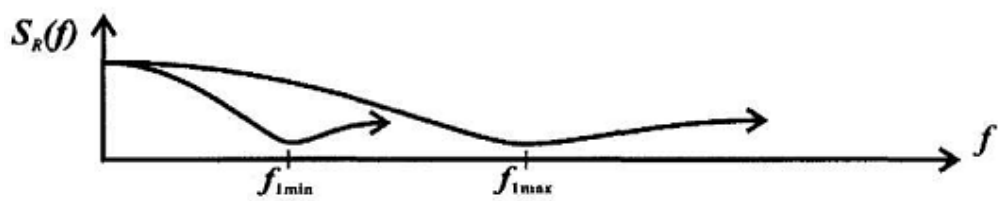
Фиг. 6



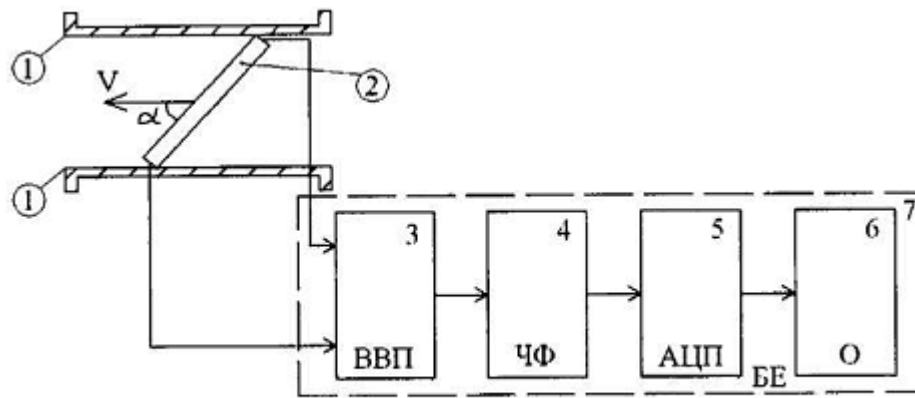
Фиг. 7



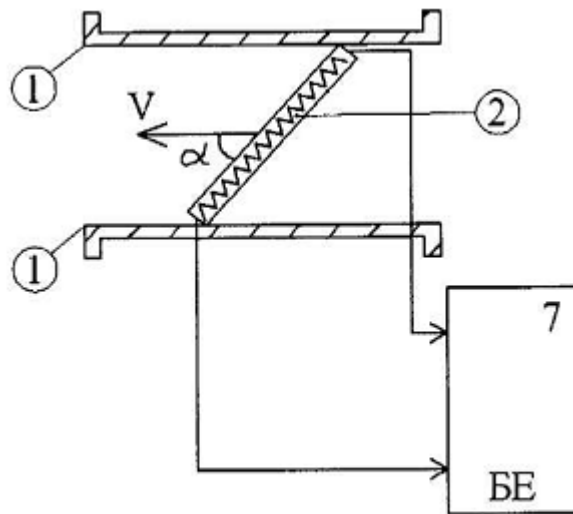
Фиг. 8



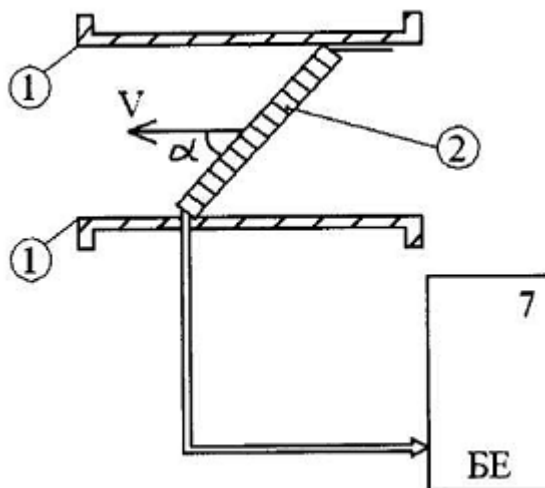
Фиг. 9



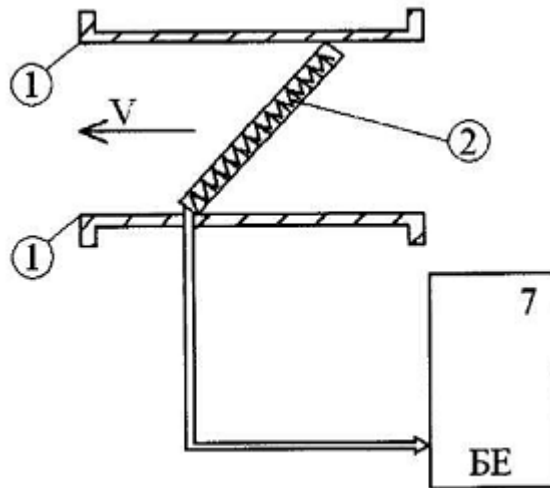
Фиг. 10



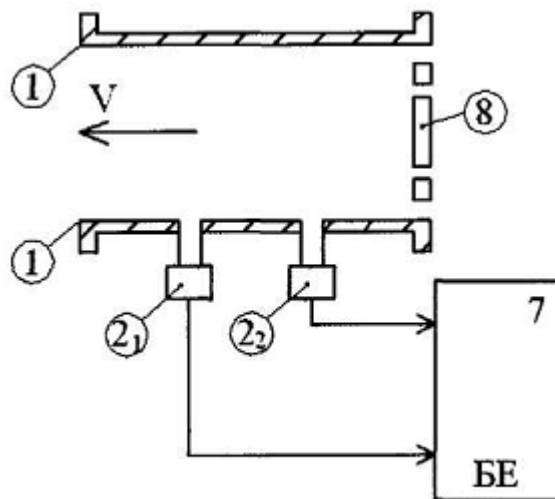
Фиг. 11



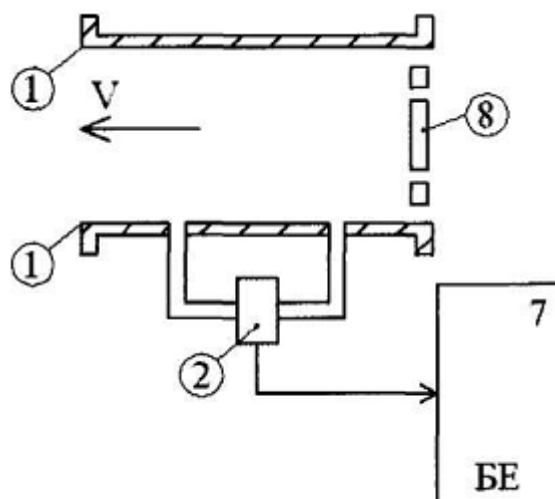
Фиг. 12 а



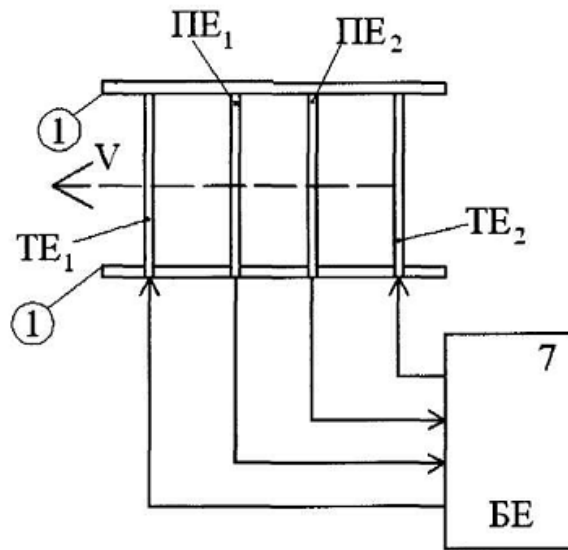
Фиг. 12 б



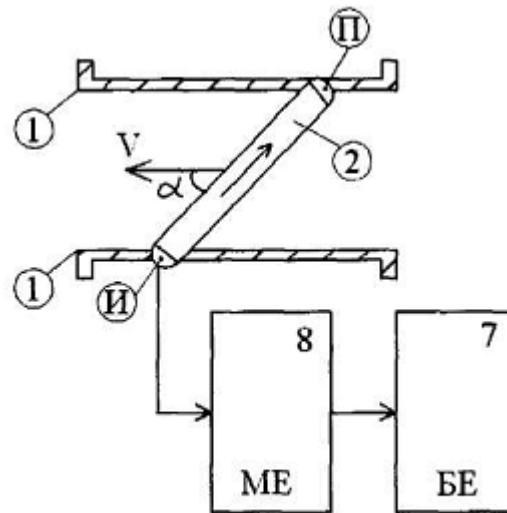
Фиг. 13 а



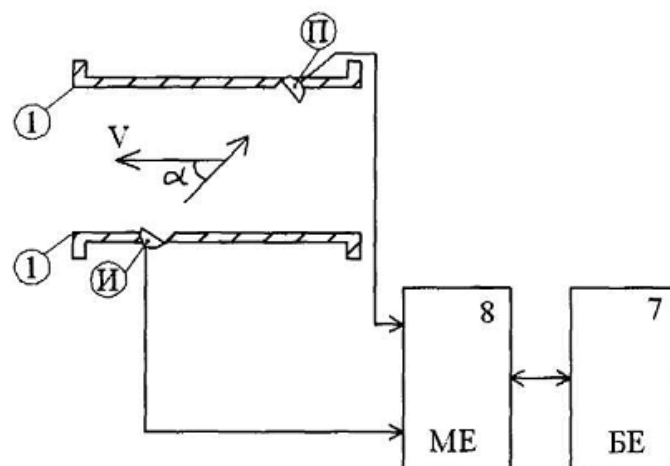
Фиг. 13 б



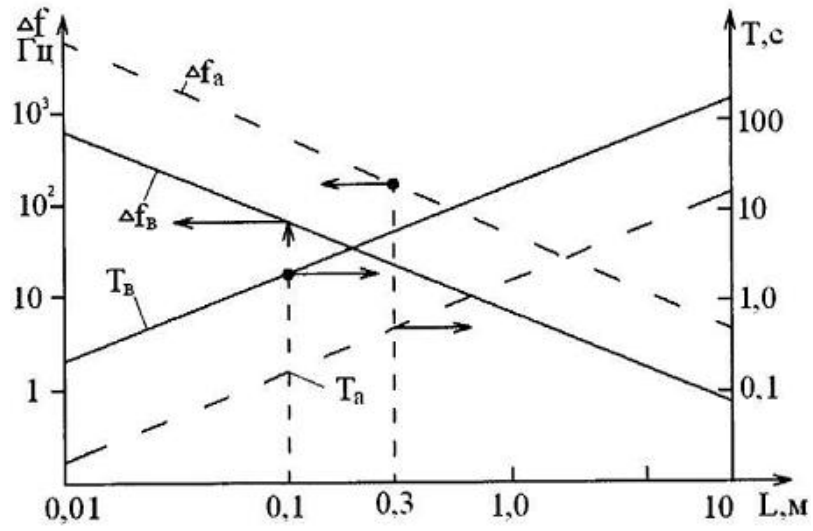
Фиг. 14



Фиг. 15



Фиг. 16



Фиг. 17

Комп'ютерна верстка В. Мацело

Державна служба інтелектуальної власності України, вул. Урицького, 45, м. Київ, МСП, 03680, Україна

ДП "Український інститут промислової власності", вул. Глазунова, 1, м. Київ – 42, 01601