



УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **112139** (13) **C2**  
(51) МПК

**F17D 5/02** (2006.01)  
**G01N 29/14** (2006.01)  
**G01M 3/04** (2006.01)  
**G01M 3/24** (2006.01)

ДЕРЖАВНА СЛУЖБА  
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ  
ВЛАСНОСТІ  
УКРАЇНИ

**(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА ВИНАХІД**

<p>(21) Номер заявки: <b>а 2015 05917</b></p> <p>(22) Дата подання заявки: <b>15.06.2015</b></p> <p>(24) Дата, з якої є чинними права на винахід: <b>25.07.2016</b></p> <p>(41) Публікація відомостей про заявку: <b>25.09.2015, Бюл.№ 18</b></p> <p>(46) Публікація відомостей про видачу патенту: <b>25.07.2016, Бюл.№ 14</b></p>	<p>(72) Винахідник(и): <b>Бабак Віталій Павлович (UA), Красильников Олександр Іванович (UA), Полобюк Тетяна Анатоліївна (UA)</b></p> <p>(73) Власник(и): <b>ІНСТИТУТ ТЕХНІЧНОЇ ТЕПЛОФІЗИКИ НАН УКРАЇНИ,</b> вул. Желябова, 2-а, м. Київ-57, 03057 (UA)</p> <p>(56) Перелік документів, взятих до уваги експертизою: UA 74457 U, 25.10.2012 JPH 0777478 A, 20.03.1995 US 6453247 B1, 17.09.2002 JP 2000055771 A, 25.02.2000 UA 12637 A, 28.02.1997 GB 2421311 A, 21.06.2006 «Научные известия» №2 (139), «Методы вероятного анализа флуктационных сигналов в пассивных системах диагностики теплоэнергетического оборудования»/Бабак В.П., Гармаш О.В., Красильников А.И., 06.2013. - С. 110-114 «Математическое моделирование законов распределения акустических флуктационных процессов методом пуассоновских спектров»/Гармаш О.В., Київ ІГМ НАН УКРАЇНИ 1-2 октября 2013. - С. 83-88 7-а Національна науково-технічна конференція і виставка «Неруйнівний контроль та діагностика», Україна, Київ, 20-23 листопада 2012, Матеріали конференції, В.П. бабак, О.В. гармаш, А.И. Красильников, Т.А. Полобюк «Стохастическая модель и вероятностные характеристики акустических сигналов утечки жидкости в трубопроводах теплоэнергетического оборудования». - С. 232-237</p>
---	--

**(54) СПОСІБ ВИЯВЛЕННЯ ВИТОКУ РІДИНИ В ТРУБОПРОВОДАХ**

**(57) Реферат:**

Спосіб виявлення витоку рідини в трубопроводах належить до області діагностики та контролю технічного стану виробів, що працюють під тиском рідкого середовища і може використовуватись в складі пересувних та стаціонарних систем для контролю та діагностики

UA 112139 C2

трубопроводів в робочому режимі експлуатації та при гідровипробуваннях трубопроводів. Суть винаходу полягає в тому, що спосіб виявлення витoku рідини в трубопроводах передбачає встановлення на контрольованому об'єкті трубопроводу електроакустичних перетворювачів, реєстрацію сигналів перетворювачів, їх обробку з одночасним вимірюванням їх одновимірних кумулянтних функцій та взаємної кореляційної функції, за якими видається рішення про наявність або відсутність витoku рідини. За рахунок чого підвищується чутливість та достовірність виявлення витoku рідини в трубопроводі.

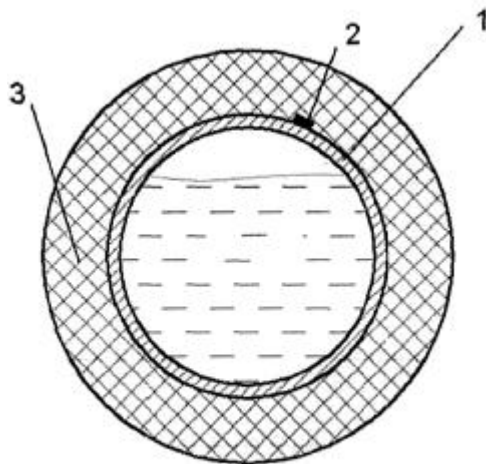


Fig. 2

Спосіб виявлення витоку рідини в трубопроводах належить до галузі діагностики та контролю технічного стану виробів, що працюють під тиском рідкого середовища, і може використовуватись в складі пересувних та стаціонарних систем для контролю та діагностики трубопроводів в робочому режимі експлуатації та при гідровипробуваннях трубопроводів.

Відомий спосіб виявлення витоку рідини, який реалізовано у способі визначення місця витоку в трубопроводі [Петімко П.І., Хомяков В.В., Царік М.Ф., Наливайко С.Б., Білик В.С., Бердак В.К. Спосіб визначення місця витоку в трубопроводі / Патент України № 12637 А. - Опубл. 28.02.1997 р., бюл. № 1]. Спосіб передбачає знімання акустичних сигналів з двох різних точок по довжині трубопроводу з транспортованою рідиною, перетворення їх в електричний сигнал, затримку одного з сигналів, додавання затриманого і незатриманого сигналів, виділення із сумарного сигналу спектра течії і визначення відстані від течії до одного з перетворювачів за екстремумом кореляційної функції з сигналу спектра течії, знімання акустичних сигналів виконують із трубопроводу з транспортованою рідиною, що знаходиться в суміші з повітряним середовищем.

Відомий, найбільш близький за технічною суттю до запропонованого способу, є спосіб виявлення витоку теплоносія, який реалізовано у способі визначення тепловтрат на ділянці трубопроводів [Бабак В.П., Воробйов Л.Й., Декуша Л.В., Красильников О.І., Назаренко А.О., Полобук Т.А. Спосіб визначення тепловтрат на ділянці трубопроводів / Патент на корисну модель № 74457 (Україна). - Опубл. 25.10.2012 р., бюл. № 20]. Спосіб полягає у встановленні пари електроакустичних перетворювачів на прямому і зворотному трубопроводі, реєстрації сигналів перетворювачів з використанням попередніх підсилювачів, каналів зв'язку з подальшою їх обробкою в блоці обробки акустичних сигналів за допомогою спеціального програмного забезпечення. Висновок про наявність або відсутність витоку теплоносія здійснюється на основі аналізу сигналів від кожної з пар перетворювачів шляхом вимірювання дисперсій сигналів та їх взаємних кореляційних функцій.

Обмеженість відомих способів виявлення витоків полягає в тому, що в них використовуються лише дисперсії, взаємні кореляційні та спектральні функції акустичних сигналів, які є вичерпними характеристиками тільки для аналізу процесів, розподіл миттєвих значень яких можна вважати гауссівським. Проте в загальному випадку акустичні сигнали витоку рідини та завади є негауссівськими процесами, тому для їх аналізу потрібно використовувати більш повні ймовірнісні характеристики, зокрема одновимірні кумулянтні функції.

В основу винаходу поставлена задача вдосконалення способу виявлення витоку рідини в трубопроводі шляхом додаткового вимірювання одновимірних кумулянтних функцій вище другого порядку для аналізу акустичних сигналів, що збільшить чутливість та достовірність виявлення витоку рідини в трубопроводах.

Поставлена задача вирішується тим, що у способі виявлення витоку рідини в трубопроводах, який передбачає встановлення на трубопроводі електроакустичних перетворювачів, реєстрацію сигналів перетворювачів, їх обробку з одночасним вимірюванням дисперсій та взаємної кореляційної функції, за значеннями яких видається рішення про наявність або відсутність витоку рідини, відповідно до винаходу, додатково вимірюються одновимірні кумулянтні функції вище другого порядку.

Вимірювання одновимірних кумулянтних функцій вище другого порядку для аналізу сигналів дозволяє збільшити чутливість та достовірність виявлення витоку рідини в трубопроводах, оскільки в загальному випадку акустичні сигнали витоку рідини та завади є негауссівськими процесами, а для їх аналізу потрібно використовувати більш повні ймовірнісні характеристики.

Структурна схема акустичної системи виявлення витоків представлена на фіг. 1, де Т - трубопровід; ЕАП-1, ЕАП-2 - електроакустичні перетворювачі; ПП-1, ПП-2 - попередні підсилювачі; КЗ-1, КЗ-2 - канали зв'язку; БОАС - блок обробки акустичних сигналів.

На фіг. 2 зображена схема установки перетворювачів на металеву поверхню труби, де 1 - трубопровід, 2 - електроакустичні перетворювачі, 3 - теплова ізоляція. Перетворювачі ЕАП-1 і ЕАП-2 встановлюють на очищену бічну поверхню трубопроводу 1 та захищають тепловою ізоляцією 3.

На фіг. 3 зображена схема формування діагностичних сигналів.

Спосіб виявлення витоку рідини в трубопроводах полягає в наступному.

Якщо перетворювачі ЕАП-1 і ЕАП-2 встановлені в точках  $X_1$  і  $X_2$ , а теча знаходиться в точці  $X_0$ , то в цій точці витоком збуджується акустичний сигнал  $\xi_v(t)$ , який поширюється

трубопроводом в обидві сторони від точки  $x_0$  у напрямку точок  $x_1$  і  $x_2$ . На виходах ЕАП-1 і ЕАП-2 маємо електричні сигнали  $\xi_1(t)$  і  $\xi_2(t)$ :

$$\xi_1(t) = A_1 \xi_B(t - \tau_1) + \xi_{31}(t), \quad (1)$$

$$\xi_2(t) = A_2 \xi_B(t - \tau_2) + \xi_{32}(t), \quad (2)$$

- 5 де  $A_1, A_2$  - інтегральні коефіцієнти послаблення сигналу витoku на ділянках  $l_1 = x_0 - x_1$  і  $l_2 = x_2 - x_0$ ,  $0 \leq A_1, A_2 \leq 1$ ;  $\tau_1, \tau_2$  - час затримки приходу сигналу витoku в точки  $x_1$  і  $x_2$ ,

$$\tau_1 = \frac{l_1}{c}, \tau_2 = \frac{l_2}{c},$$

$c$  - швидкість поширення акустичних хвиль в трубопроводі;  $\xi_{31}(t)$  і  $\xi_{32}(t)$  - акустичні завади в точках прийому, викликані в основному турбулентністю потоку рідини в трубопроводі.

- 10 Кожен з сигналів  $\xi_1(t)$  і  $\xi_2(t)$  характеризується своїм набором одновимірних кумулянтних функцій  $\kappa_s[\xi_i(t)]$  порядку  $s$ . Кумулянтні функції першого порядку є математичними сподіваннями сигналів, другого порядку - їх дисперсіями.

- Зробимо наступні припущення відносно властивостей сигналів  $\xi_B(t), \xi_{31}(t)$  і  $\xi_{32}(t)$ . В загальному випадку ці сигнали є нестационарними випадковими процесами, оскільки їх імовірнісні характеристики залежать від тиску в трубі і температури рідини, що можуть змінюватись з часом. Проте на коротких проміжках часу (кілька хвилин), які необхідні для реєстрації та обробки, ці сигнали можна вважати стаціонарними. Із фізичних міркувань також можна вважати, що сигнал витoku  $\xi_B(t)$  і акустичні завади  $\xi_{31}(t), \xi_{32}(t)$  є попарно незалежними.

- 15 За таких припущень одновимірні кумулянтні функції не залежать від часу і є числами, які назвемо кумулянтами і для спрощення запису позначимо  $\kappa_s[\xi]$ . Кумулянти сигналів, що приймаються перетворювачами, з урахуванням властивості адитивності [Малахов А.Н. Кумулянтный анализ случайных негауссовых процессов и их преобразований. - М: Сов. радио, 1978. - 376 с], є сумою кумулянт сигналу витoku та завади:

$$\kappa_s[\xi_1] = A_1^s \kappa_s[\xi_B] + \kappa_s[\xi_{31}], \quad (3)$$

$$\kappa_s[\xi_2] = A_2^s \kappa_s[\xi_B] + \kappa_s[\xi_{32}], \quad (4)$$

25 де  $\kappa_s[\xi_B], \kappa_s[\xi_{3i}], i=1,2$  - кумулянти сигналу витoku та завади відповідно.

Взаємна кореляційна функція сигналів  $\xi_1(t)$  і  $\xi_2(t)$ , що приймаються перетворювачами, дорівнює

$$R_{12}(\tau) = A_1 A_2 R_B(\tau - \tau_0), \quad (5)$$

- 30 де  $R_B(\tau)$  - кореляційна функція сигналу витoku;  $\tau_0$  - часовий зсув кореляційної функції  $R_B(\tau), \tau_0 = \tau_2 - \tau_1$ .

Функція  $R_{12}(\tau)$  має максимум у точці  $\tau = \tau_0$ , який дорівнює

$$\max_{\tau} R_{12}(\tau) = R_{12}(\tau_0) = A_1 A_2 D_B, \quad (6)$$

де  $D_B = \kappa_2[\xi_B]$  - дисперсія сигналу витoku.

- 35 Сигнали  $\xi_1(t)$  і  $\xi_2(t)$  посилюються попередніми підсилювачами ПП-1 і ПП-2 та передаються каналами зв'язку КС-1 і КС-2 у блок обробки акустичних сигналів БОАС.

У блоці БОАС вимірюються кумулянти  $\kappa_s[\xi_1]$  і  $\kappa_s[\xi_2]$  сигналів (1) і (2), взаємна кореляційна функція  $R_{12}(\tau)$  та проводиться їх аналіз, на основі якого приймається рішення про наявність або відсутність витoku.

- 40 Принцип виявлення сигналу витoku  $\xi_B(t)$  полягає в наступному. Припустимо, що імовірнісні характеристики завад  $\xi_{31}(t), \xi_{32}(t)$  в точках  $x_1$  і  $x_2$  можна вважати однаковими, зокрема для них виконується умова

$$\kappa_s[\xi_{31}] = \kappa_s[\xi_{32}] = \kappa_s[\xi_3].$$

Тоді, якщо витік в контрольованому трубопроводі відсутній, то  $R_{12}(\tau) = 0, \kappa_s[\xi_B] = 0$  і всі кумулянти  $\kappa_s[\xi_1]$  і  $\kappa_s[\xi_2]$  сигналів  $\xi_1(t)$  і  $\xi_2(t)$  співпадають. За наявності витіку сигнали  $\xi_1(t)$  і  $\xi_2(t)$  будуть відрізнятися і, як наслідок, кумулянти  $\kappa_s[\xi_1]$  і  $\kappa_s[\xi_2]$  однакового порядку  $s$  будуть різними.

- 5 Таким чином, для виявлення витіку необхідно порівнювати сигнали  $\xi_1(t)$  і  $\xi_2(t)$ , для чого можна використати набори відповідних кумулянтів цих сигналів. Визначимо відстань  $\rho(\xi_1, \xi_2)$  між сигналами  $\xi_1(t)$  і  $\xi_2(t)$  із застосуванням сукупності кумулянтів  $\kappa_s[\xi_1]$  і  $\kappa_s[\xi_2]$ ,  $s = \overline{1, m}$ , за формулою

$$\rho(\xi_1, \xi_2) = \sum_{s=1}^m |\kappa_s[\xi_1] - \kappa_s[\xi_2]|, \quad (7)$$

- 10 яка є критерієм виявлення витіку. Зокрема, для сигналів  $\xi_1(t)$  і  $\xi_2(t)$ , що співпадають,  $\rho(\xi_1, \xi_2) = 0$ . Кількість кумулянтів, що враховується в формулі (7), впливає на точність відображення властивостей сигналів  $\xi_1(t)$  і  $\xi_2(t)$  та визначає чутливість і достовірність виявлення витіку рідини в трубопроводі. За наявності витіку можливі дві крайні ситуації. У першій з них витік знаходиться посередині контрольованої ділянки, тобто  $x_0 = 0,5(x_1 + x_2)$ .

- 15 У цьому разі  $\tau_0 = 0, A_1 = A_2 = A_{0,5}$ , де  $A_{0,5}$  - послаблення сигналу на ділянці довжиною  $0,5(x_1 + x_2)$ , а формули (3)-(7) приймають вигляд

$$\kappa_s[\xi_1] = \kappa_s[\xi_2] = A_{0,5}^s \kappa_s[\xi_B] + \kappa_s[\xi_3],$$

$$\rho(\xi_1, \xi_2) = 0,$$

$$R_{12}(\tau) = A_{0,5}^2 R_B(\tau), \max_{\tau} R_{12}(\tau) = A_{0,5}^2 D_B.$$

У випадку, що розглядається, критерієм наявності витіку є виконання умови  $\max_{\tau} R_{12}(\tau) > 0$ .

- 20 У другій крайній ситуації точка  $x_0$  може знаходитися поблизу однієї з точок  $x_1$  або  $x_2$  установки електроакустичних перетворювачів. Якщо, наприклад,  $x_0 \approx x_1$ , то  $A_1 \approx 1, A_2 \approx 0, \tau_0 = \tau_2$  і формули (3)-(6) приймають вигляд

$$\kappa_s[\xi_1] \approx \kappa_s[\xi_B] + \kappa_s[\xi_3],$$

$$\kappa_s[\xi_2] \approx \kappa_s[\xi_3],$$

$$R_{12}(\tau) \approx 0.$$

У випадку, що розглядається, критерієм наявності витіку є виконання умови

- 25  $\rho(\xi_1, \xi_2) > 0$ .

В окремому випадку, коли завада має гаусівський закон розподілу, всі її кумулянти  $\kappa_s[\xi_3] = 0, s > 2$  [Малахов А.Н. Кумулянтный анализ случайных негауссовых процессов и их преобразований. - М.: Сов. радио, 1978. 376 с]. Тоді для прийняття рішення про наявність витіку рідини, сигнал якого має негаусівський розподіл, критерій виявлення спрощується і має вигляд

- 30  $\kappa_3[\xi_1] \neq 0, \kappa_4[\xi_1] \neq 0$ , або  $\kappa_3[\xi_2] \neq 0, \kappa_4[\xi_2] \neq 0$ .

Таким чином, в загальному випадку БОАС видає рішення про відсутність витіку, якщо виконуються умови

$$\rho(\xi_1, \xi_2) = 0, \max_{\tau} R_{12}(\tau) = 0,$$

- 35 і про наявність витіку у результаті виконання хоча б однієї з умов  $\max_{\tau} R_{12}(\tau) > 0, \rho(\xi_1, \xi_2) > 0$ .

# ФОРМУЛА ВИНАХОДУ

- 5 Спосіб виявлення витoku рідини в трубопроводах, що передбачає встановлення на трубопроводі електроакустичних перетворювачів, реєстрацію сигналів перетворювачів, їх обробку з одночасним вимірюванням дисперсій та взаємної кореляційної функції, за значеннями яких видається рішення про наявність або відсутності витoku рідини, який **відрізняється** тим, що додатково вимірюються одновимірні кумулянтні функції вище другого порядку.

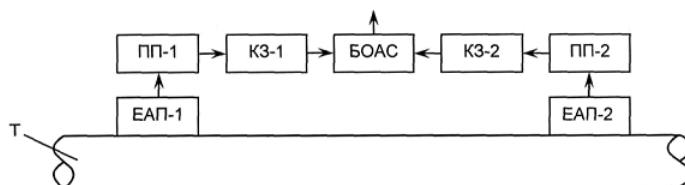


Fig. 1

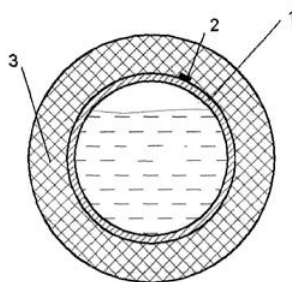


Fig. 2

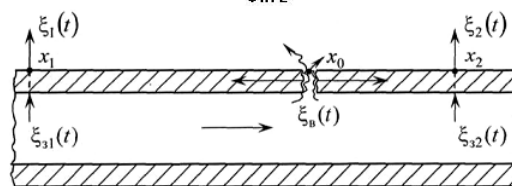


Fig. 3

Комп'ютерна верстка Л. Бурлак

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

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