

Пристрій належить до класу акустичних приладів для виявлення місць протікання підземних трубопроводів і призначений для використання в комунальному господарстві для контролю систем водозабезпечення, опалення та каналізації. В основі роботи таких пристроїв використовується спосіб виявлення слабких акустичних сигналів, які виникають в місці протікання трубопроводу [Чернега В.С. Акустические параметры струйных течений в местах повреждения трубопроводов /В.С. Чернега, В.Н. Хоролич // Прикладные задачи математики и механики. - Севастополь: Изд-во СевНТУ, 2003.-С.207-209].

Відомі схеми оптимального виявлення слабких акустичних стохастичних сигналів на фоні випадкових флуктуаційних перешкод [Левин Б.Р. Теоретические основы статистической радиотехники. В трех книгах. Книга третья. - М.: Сов. Радио, 1976. - 288 с. (Стр.89-92)], до складу яких входять блок перемноження, суматор та пороговий елемент. Недоліком цих пристроїв є необхідність двох чутливих елементів генерації акустичних сигналів, а також необхідність знання параметрів перешкод та сигналів. Крім того, в таких пристроях проявляється висока імовірність хибної тривоги (видання сигналу наявності протікання, коли його насправді немає) при появі нестационарних перешкод, які виникають в моменти проходження транспорту поблизу місця контролю трубопроводу, або роботі поблизу будівельних та дорожніх машин.

До характерних аналогів заявленого пристрою можна віднести виявник протікання підземних трубопроводів [Обнаружитель течи подземных трубопроводов. Авторское свидетельство СССР №593045. Бюл. №6.-1978], до складу якого входять давач механічних коливань (чутливий елемент), підсилювач сигналів, блок запам'ятовування нижнього рівня сигналу та блок індикації. Недоліком такого пристрою є невисока перешкодостійкість та велика імовірність хибної тривоги при наявності сильних зовнішніх перешкод, які характерні при пошуку течій в умовах великого міста.

В якості прототипу доцільно взяти акустичний пристрій для пошуку місць протікання [Акустический течеискатель, Авторское свидетельство СССР № SU 1716351, Бюл. изобретений №8.-1992], до складу якого входять чутливий елемент, підсилювач сигналів, блок фільтрів, блоки обробки сигналів та індикації. В нього є всі характерні недоліки, які присутні аналогам.

В основу винаходу поставлено задачу підвищення перешкодостійкості, зниження імовірності хибної тривоги та підвищення комфортності роботи оператора при проведенні робіт по пошуку течій в трубопроводах систем водо- та теплопостачання в умовах великого міста. Поставлена задача вирішується шляхом введення в пристрій блоку зберігання відліків сигналу, блоку обчислення дисперсії та ефективного значення вимірювального процесу, блоку порівняння поточного рівня сигналу із обчисленим середньоквадратичним значенням, блоку обчислення порогового рівня для порогового елемента та ключового елемента, який закриває вимірювальний канал та головні телефони оператора під час значного (в 4-5 разів) різкого перевищення миттєвого рівня перешкоди над її середньоквадратичним рівнем.

На фіг.1 зображена структурна схема акустичного пристрою для виявлення місць протікання підземних трубопроводів. Пристрій складається із послідовно з'єднаних чутливого елемента 1, підсилювача сигналів 2, ключового елемента 3, аналого-цифрового перетворювача 4, блоку зберігання відліків сигналу 5, блока перемноження 6, суматора 9, порогового елемента із регульованим порогом 12 і блока індикації 13. Пристрій додатково містить послідовно з'єднані блок обчислення дисперсії та ефективного значення 7 з блоком обчислення порогового рівня 10, при цьому вхід блока обчислення дисперсії та ефективного значення 7 з'єднаний з виходом аналого-цифрового перетворювача 4, а вихід блока обчислення порогового рівня 11 - з керуючим входом порогового елемента 12. До складу пристрою також входять блок порівняння 11, перший вхід якого приєднано до виходу блока обчислення дисперсії та ефективного значення 7, а другий вхід - до виходу підсилювача сигналів 2, вихід блоку порівняння 11 з'єднаний із керуючим входом ключового елемента 3, головні телефони оператора 8 і блок синхронізації та управління 14.

Принцип функціонування пристрою ґрунтується на явищі виникнення механічних коливань стінок труби і навколишнього ґрунту внаслідок турбулентності потоку води, який протікає по трубопроводу з неоднорідностями (наявність запираючої арматури, труб різних діаметрів, колін, зварювальних швів, тощо). Ці коливання викликають в чутливому елементі (геофоні) появу електричного сигналу, який сприймається як природний шум труби. Додатковий шум викликають коливання ґрунту за рахунок проїжджаючого автотранспорту та роботи дорожніх і будівельних машин і механізмів (компресора, вентиляційних систем, відбійних молотків). Експериментальні дослідження показали, що цей шум має стохастичний характер із нормальним законом розподілу.

При пошкодженні трубопроводу внаслідок витікання рідини виникають додаткові коливання, які сприймаються як "сигнал протікання". Характерною особливістю такого сигналу є стохастичний характер із ознакою вузькополосного шуму, дисперсія якого  $\sigma_s^2$  набагато нижча за дисперсію сумарного шуму  $\sigma^2$  непошкодженого трубопроводу та зовнішнього шуму. Очевидно, що шум непошкодженого трубопроводу та навколишній техногенний шум є перешкодою при пошуку сигналу протікання. Таким чином, задача виявлення сигналу протікання зводиться до задачі виявлення стохастичних слабких сигналів на фоні потужних стохастичних перешкод. Характерною відмінністю задачі виявлення сигналів протікання трубопроводів від типових задач радіо- та гідрокації є суттєва не стаціонарність параметрів сигналів і перешкод, та наявність "спалахів" потужних зовнішніх техногенних перешкод неперіодичного характеру.

Акустичний пристрій для виявлення місць протікання підземних трубопроводів функціонує наступним чином. В процесі пошуку місця протікання оператор забезпечує механічний контакт чутливого елемента (геофона) 1 з ґрунтом над трасою трубопроводу. Приблизно через кожні 0,5 м провадяться замірювання акустичних коливань. Сигнал із чутливого елемента 1, який перетворює коливання ґрунту в електричний сигнал, підсилюється в блоці 2 і через відкритий ключовий елемент 3 подається на вхід аналого-цифрового перетворювача 4 і одночасно на головні телефони оператора 8 для контролю акустичного сигналу на слух. Після перетворення акустичного сигналу блоком 4 в цифрову форму подальша обробка сигналів виконується в цифровій формі.

Відліки акустичного коливання заносяться в блок зберігання відліків 5 та подаються на перший вхід блока перемноження 6. На другий вхід блока перемноження 6 подаються відповідні відліки акустичного коливання з блока 5, які були зафіксовані в попередньому циклі виміру. Таким чином за допомогою блоку зберігання 5 формується два канали вимірювального процесу без додаткового чутливого елемента. Блок 6 в сукупності з суматором 9 виконують функцію корелятора. До тих пір коли на виході чутливого елемента 1 присутні коливання

перешкоди, вихідний сигнал корелятора буде близьким до нуля, по причині того, що відліки перешкоди в поточний час і відповідні відліки за попередній період є статистичне незалежними. При появі сигналу протікання за рахунок статистичного зв'язку на виході корелятора 9 з'являється сигнал, який пропорційний функції кореляції сигналу протікання. Поточний рівень сигналу корелятора відображається в блоці індикації 13.

В пороговому елементі 12 сигнал корелятора порівнюється з пороговим значенням  $C$ . Для оптимального виявлення сигналу величина порога має бути більше за величину, обчислену за виразом

$$C = \sigma^2 \sqrt{8n} (\chi_\alpha + \sqrt{n/2}),$$

де  $\sigma^2$  - дисперсія перешкоди;  $n$  - кількість відліків процесу;  $\chi_\alpha$  - процентне значення нормального розподілу при імовірності хибної тривоги  $\alpha$ . Так для  $\alpha = 0,001$   $\chi_\alpha = 3,29$ , а для  $\alpha = 0,01$   $\chi_\alpha = 2,33$  [Левин Б.Р. Теоретические основы статистической радиотехники. Книга третья. - М.: Сов. Радио, 1976. - 288 с. (Стр.91)].

В зв'язку з тим, що дисперсія перешкоди  $\sigma^2$  на трасах пошуку течії завчасно невідома, в пристрій введено блок обчислення дисперсії завади та ефективного значення 7, який на основі відліків завади  $x(t)$  в попередній цикл виміру обчислює дисперсію процесу за формулою

$$\sigma^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n x_i^2(t).$$

Потім в блоці обчислення порогу 10 виконується розрахунок порогового значення  $C$ . По причині того, що частота дискретизації в пристрої фіксована і є рівною 8 кГц, при заданій імовірності хибної тривоги та постійному значенні кількості відліків акустичного процесу, обчислення порогу  $C$  зводиться до простого множення  $\sigma^2$  на постійний коефіцієнт.

Момент перевищення вихідного сигналу корелятора на виході блока 9 фіксується пороговим елементом і відображається на блоці індикатора 13. Дискретний сигнал порогового елементу свідчить, що поблизу місця виміру з вірогідністю 1-а має місце пошкодження трубопроводу. Поточний рівень сигналу з виходу корелятора подається також на вхід управління багаторівневою індикацією блока індикації 13. Далі оператор переміщує чутливий елемент вздовж траси трубопроводу і по максимуму сигналу багаторівневого індикатора уточнює місце протікання.

Блок синхронізації та управління 14 служить для генерації тактових та керуючих сигналів для управління роботою цифрових блоків пристрою.

Таким чином, в процесі пошуку місць протікання, завдяки обчисленню параметрів перешкоди та розрахунку оптимального порогу забезпечується оптимальний процес виявлення місця протікання.

Якщо в проміжок часу проведення вимірів акустичних коливань виникає інтенсивна нестационарна перешкода внаслідок проходження поблизу автотранспорту або роботи будівельних чи дорожніх механізмів і машин, тобто миттєве значення процесу перевищує в 4-5 разів середньоквадратичне, то блок порівняння 11 виробляє керуючий сигнал, що подається на відповідний вхід ключового елементу 3 і тим самим перекривається тракт виміру. Таким чином запобігається хибне спрацювання порогового елементу 12 і знижується імовірність хибної тривоги виявлення протікання. Окрім цього, ключовий елемент 3 запобігає різкому збільшенню рівня звуку в головних телефонах оператора 8, який без запирання телефонів часто досягає больового порогу. Завдяки запиранню телефонів покращується комфортність роботи оператора.

Пристрій реалізовано на типових інтегральних мікросхемах переважно серій КР1802, КР537, 555 та операційних підсилювачах серії 544. Інша модифікація пристрою виконана в формі об'єднання віртуальних інструментів шляхом моделювання на переносному комп'ютері типу Laptop.

