



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ,
ПАТЕНТАМ И ТОВАРНЫМ ЗНАКАМ

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(21), (22) Заявка: 2002102334/28, 25.01.2002

(24) Дата начала действия патента: 25.01.2002

(43) Дата публикации заявки: 10.10.2003

(45) Опубликовано: 10.04.2005 Бюл. № 10

(56) Список документов, цитированных в отчете о поиске: US 5058419 A, 22.10.1991. JP 4184133 A, 01.07.1992. SU 934269 A, 07.06.1982. SU 1833684 A3, 27.03.1995. RU 2141655 C1, 20.11.1999. EP 0451649 A2, 16.10.1991. WO 97/47965 A1, 18.12.1997. US 4592034 A, 27.05.1986.

Адрес для переписки:

197376, Санкт-Петербург, Чкаловский пр., 46,
ФГУП "Центральный научно-исследовательский
институт "Морфизприбор"

(72) Автор(ы):

Гулиянц Р.Ц. (RU),
Каришнев Н.С. (RU),
Усов В.В. (RU),
Шейнман Л.Е. (RU)

(73) Патентообладатель(ли):

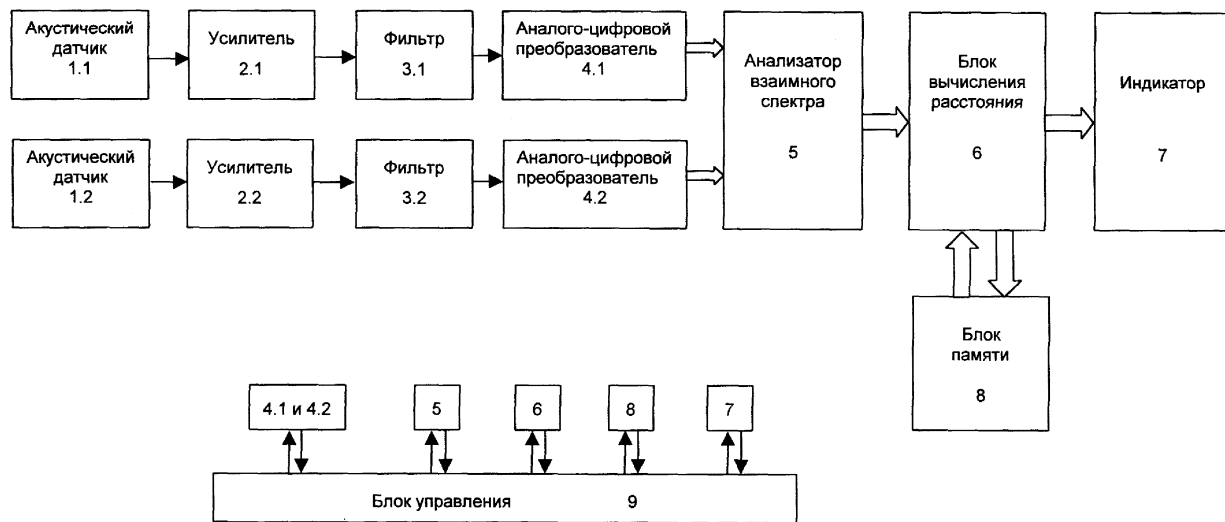
Федеральное Государственное унитарное
предприятие "Центральный
научно-исследовательский институт
"Морфизприбор" (RU)

(54) СПОСОБ ОПРЕДЕЛЕНИЯ МЕСТА ТЕЧИ В ТРУБОПРОВОДЕ И УСТРОЙСТВО ДЛЯ ЕГО РЕАЛИЗАЦИИ

(57) Реферат:

Изобретение относится к устройствам определения места утечки жидкости или газов в трубопроводах и предназначено для определения координат течи в труднодоступных местах газо- и нефтепроводов. Техническим результатом изобретения является обеспечение возможности определения места течи из одной точки на трассе трубопровода и упрощение устройства. Этот технический результат обеспечивается за счет того, что изобретение включает прием шума вытекающей струи с помощью двух акустических датчиков, преобразование этого шума в электрические напряжения, дискретизацию, фильтрацию и анализ. Акустические датчики расположены в одном месте трубопровода, причем один из них обеспечивает прием акустических волн - сигналов, распространяющихся по оболочке трубопровода, а второй обеспечивает прием акустических волн, распространяющихся в среде, окружающей трубопровод. Принятые сигналы подвергают взаимоспектральной обработке, а по данным о действительной и мнимой частях взаимного спектра находят задержку между сигналами, распространяющимися в двух средах и

имеющих из-за этого разные скорости акустических колебаний. Предварительно создают искусственный сигнал на некотором известном расстоянии вдоль трубопровода R_0 от места расположения датчиков, возбуждаемый одновременно в трубопроводе и в окружающей среде, определяют время задержки t_3 , и между искусственными сигналами и по известному расстоянию R_0 , задержка t_3 , и скорости распространения акустических волн в окружающей среде находят групповую скорость распространения акустических волн по оболочке трубопровода, после чего при появлении повреждения в трубопроводе ведут прием акустических сигналов от шума струи, определяют с помощью взаимоспектрального анализа временную задержку сигналов от шума струи, распространяющихся по оболочке трубопровода и в окружающей среде и определяют расстояние до места повреждения по полученным данным о времени задержки и данным о скоростях распространения акустических волн по оболочке трубопровода и в окружающей среде. 2 н. и 1 з.п. ф-лы, 1 ил.





FEDERAL SERVICE
FOR INTELLECTUAL PROPERTY,
PATENTS AND TRADEMARKS

(12) ABSTRACT OF INVENTION

(21), (22) Application: 2002102334/28, 25.01.2002

(24) Effective date for property rights: 25.01.2002

(43) Application published: 10.10.2003

(45) Date of publication: 10.04.2005 Bull. 10

Mail address:

197376, Sankt-Peterburg, Chkalovskij pr., 46, FGUP
"Tsentral'nyj nauchno-issledovatel'skij institut
"Morfizpribor"

(72) Inventor(s):

Gulijants R.Ts. (RU),
Karishnev N.S. (RU),
Usov V.V. (RU),
Shejnman L.E. (RU)

(73) Proprietor(s):

Federal'noe Gosudarstvennoe unitarnoe
predpriyatie "Tsentral'nyj
nauchno-issledovatel'skij institut "Morfizpribor" (RU)

(54) METHOD AND DEVICE FOR DETECTING LEAKAGE SITE IN PIPELINE

(57) Abstract:

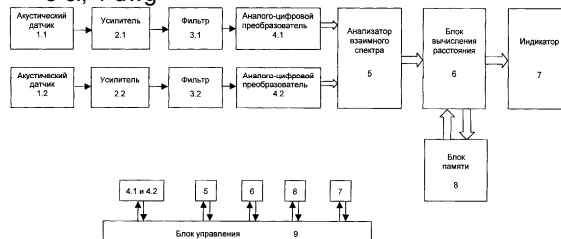
FIELD: oil industry.

SUBSTANCE: method comprises receiving noise of discharging jet with the use of two acoustical pickups, converting the noise into voltage, digitization, filtering, and analyzing. The acoustical pickups are set at one site of the pipeline. One of the pickups receives acoustical waves, which propagate over the shell of the pipeline. The second one receives acoustical waves which propagate in the ambient fluid. The signal received are analyzed to determine co-spectra, and

the values of the real and imaginary parts of the co-spectra indicate time lag between the signals which propagate in two fluids.

EFFECT: enhanced reliability of detecting.

3 cl, 1 dwg



Изобретение относится к устройствам определения места утечки жидкости или газа в трубопроводах и предназначено для определения координат течи в труднодоступных местах газопроводов и нефтепроводов.

Известен способ обнаружения отверстия в трубе из патента Японии №4-184133, согласно которому шум струи, истекающей из отверстия (шум течи), принимают акустическими датчиками, расположенными на обоих концах трубы, сигналы с которых визуализируют на дисплее и сравнивают. Если сигналы равны, то отверстие находится в средней части между датчиками. Если сигнал от одного из датчиков значительно больше другого, то отверстие расположено ближе к этому датчику.

Устройство, реализующее этот способ, содержит два тракта, каждый из последовательно соединенного акустического датчика, усилителя, дисплея.

Недостатками способа и устройства-аналогов является недостаточная точность определения места течи, а также невозможность установки второго датчика в недоступных местах.

Наиболее близким по технической сущности к настоящему предложению является патент США № 5.058.419 на способ и аппаратуру для определения местоположения источника звука. Согласно этому способу для определения координат течи в трубопроводе обнаруживают звук этой трубной течи в двух удаленных друг от друга на 300 метров точках и по времени задержки рассчитывают местоположение источника звука. Необходимую для этого скорость распространения рассчитывают на основе параметров жидкости в трубе, материалов и формы трубы по стандартам Американской водопроводной ассоциации AWWA C 401-77 и ANSG/AWWA C 403-78.

Устройство, реализующее способ-прототип, содержит два приемных тракта, каждый из последовательно соединенных акустического датчика, усилителя, фильтра, аналого-цифрового преобразователя, также содержит персональный компьютер, первый и второй входы которого соединены с выходами аналого-цифровых преобразователей первого и второго трактов.

Недостатками способа и устройства-прототипа являются, во-первых, необходимость выполнять прием сигналов в двух удаленных точках, что связано с необходимостью создания специальных электрических коммуникаций, во-вторых, расчет скорости звука по трубе не может быть точен из-за различного закрепления трубы по трассе, в-третьих, не обеспечивается возможность определения места течи в недоступных для наблюдения местах.

Задачей изобретения является обеспечение определения места течи из одной точки на трассе трубопровода.

Техническим результатом изобретения является упрощение способа и устройства для определения места течи за счет отсутствия необходимости выполнять измерения в двух точках, разнесенных на значительное расстояние и связанных между собой либо кабелем, либо другим средством передачи информации. Кроме того, вторая точка измерений не всегда бывает доступной, то есть появляется возможность определять координаты течи в недоступных для наблюдения местах.

Указанный технический результат достигается, тем, что в способ определения места течи в трубопроводе, содержащий прием шумовых сигналов течи первым и вторым акустическими датчиками, преобразование этих шумовых сигналов течи в электрические сигналы, фильтрацию и дискретизацию электрических сигналов и определение места течи по времени задержки шумовых сигналов течи, принятых первым и вторым акустическими датчиками, введены новые признаки, а именно: первый и второй акустические датчики установлены на трубопроводе рядом, так что первый акустический датчик имеет акустический контакт с трубопроводом и акустически заэкранирован от акустических волн в окружающей трубопровод среде, а второй - акустически заэкранирован от акустических волн, распространяющихся по трубопроводу, предварительно на фиксированном расстоянии R_H от датчиков возбуждают в трубопроводе и в окружающей его среде искусственный шумовой сигнал, принимают шумовой сигнал, распространяющийся по

трубопроводу первым акустическим датчиком, шумовой сигнал, распространяющийся по окружающей трубопровод среде вторым акустическим датчиком, электрические сигналы первого и второго акустических датчиков после фильтрации и дискретизации подвергаются взаимоспектральной обработке, по данным о действительной и мнимой частях взаимного спектра, величине R_n и скорости распространения акустических волн в среде находят скорость распространения групповых волн в трубопроводе, при наличии сигнала течи производят взаимоспектральную обработку преобразованных в электрические сигналы отфильтрованных, дискретизированных сигналов течи, принятых первым и вторым акустическими датчиками, время задержки шумовых сигналов течи, принятых первым и вторым акустическими датчиками, определяют данные о действительной и мнимой частях взаимного спектра шумовых сигналов течи, после чего определяют место течи с учетом скорости распространения акустических волн в среде и скорости групповых волн в трубопроводе.

Оптимальный результат получается, если фильтрацию осуществляют в полосе частот от нижней частоты $f_H = 0,21 \frac{U}{D}$ до верхней частоты $f_B = 0,3 \frac{U}{D}$, где U - скорость струи течи,

D - диаметр минимального отверстия течи, подлежащей обнаружению.

Для обеспечения этого технического результата в устройство определения места течи в трубопроводе, включающее первый и второй приемные тракты, каждый из которых содержит последовательно соединенные первый и второй акустический датчик соответственно, усилитель, фильтр и, аналого-цифровой преобразователь введены следующие новые признаки, а именно: первый датчик имеет акустический контакт с трубопроводом и акустически заэкранирован от акустических волн в окружающей трубопровод среде, а второй акустический датчик акустически заэкранирован от акустических волн, распространяющихся по трубопроводу, устройство содержит последовательно соединенные анализатор взаимного спектра, первый и второй входы которого соединены с выходами аналого-цифровых преобразователей первого и второго приемного трактов соответственно, блок вычисления расстояния и индикатор, также содержит блок памяти скоростей распространения групповых волн в трубопроводе и в окружающей трубопровод среде, вход которого соединен со вторым выходом блока вычисления расстояния, а выход со вторым входом блока вычисления расстояния и скорости распространения групповых волн в трубопроводе, также имеется блок управления, синхровходы и синхровыходы которого соединены с аналого-цифровыми преобразователями, с анализатором взаимного спектра, с блоком вычисления расстояния и скорости распространения групповых волн в трубопроводе, с блоком памяти скоростей распространения групповых волн в трубопроводе и в окружающей трубопровод среде и с индикатором, также содержит искусственный источник акустического сигнала, акустически связанный с первым акустическим датчиком по трубопроводу, а со вторым акустическим датчиком - по окружающей трубопровод среде.

Изобретение поясняется чертежом, где приведена блок-схема устройства для реализации предлагаемого способа определения места течи в трубопроводе.

Устройство для определения места течи в трубопроводе имеет два тракта, содержащих последовательно соединенные акустические датчики 1.1 и 1.2, усилители 2.1 и 2.2, фильтры 3.1 и 3.2, аналого-цифровые преобразователи 4.1 и 4.2. Содержит последовательно соединенные анализатор взаимного спектра 5, первый и второй входы которого соединены с выходами аналого-цифровых преобразователей 4.1 и 4.2, блок 6 определения расстояния и скорости распространения групповых волн в трубопроводе, индикатор 7. Также содержит блок 8 памяти скоростей распространения групповых волн в трубопроводе и в окружающей трубопровод среде, вход которого соединен со вторым выходом блока 6, а выход соединен со вторым входом блока определения расстояния 6. Блок 9 управления имеет синхровходы и синхровыходы, соединенные с блоками 4.1 и 4.2, блоками 5, 6, 8. 7. Также имеется источник искусственного сигнала 10.

Способ предусматривает следующую последовательность операций, обеспечиваемых

работой устройства. Сначала экспериментально определяют групповую скорость - U распространения акустического сигнала по трубе. Характер волн, распространяющихся по цилиндрической трубе, существенно зависит от величины безразмерной частоты - ϖ [А.С.Никифоров. Акустическое проектирование судовых конструкций.

5 Справочник. -Л.: судостроение, 1990.-с.17]

$$v = \varpi R_{cp} C_{п.пл.}^{-1} \quad (1)$$

где R_{cp} - средний радиус трубы, $C_{п.пл.}$ - скорость продольной волны в пластине, равной толщине трубы. Для стальной трубы $C_{п.пл.} \cong 5000 \text{ мс}^{-1}$. Обычно радиусы магистральных

10 трубопроводов $R_{cp} \cong 0,6 \text{ м}$. Поэтому можно для стальных трубопроводов с таким R_{cp} принять

$$v = 2\pi f \cdot 1,2 \cdot 10^{-4} = 7,5 \cdot 10^{-4} f \quad (2)$$

$$v > 1,$$

15 т.е. на частотах $f_{кр} > 1330 \text{ Гц}$, в трубе могут возникать изгибные, продольные и сдвиговые колебания. При этом изгибные колебания имеют скорость распространения

$$C_{изг} \cong 0,535 \sqrt{\varpi \cdot C_{п.пл.} \cdot h_0 S_r} \quad (3)$$

Скорость распространения продольных волн

$$20 \quad C_{п.пл.} \cong \sqrt{\frac{E}{\rho(1 - \sigma^2)}}, \quad (4)$$

где E , σ , ρ - модули Юнга, Пуассона и плотность материала трубы. Скорость сдвиговых волн

$$25 \quad C_{с.сп} = \sqrt{\frac{G}{\rho}} \quad (5)$$

где G - модуль сдвига.

Для стали: модуль Юнга $E = 21 \cdot 10^{10} \text{ Па}$, модуль сдвига $G = 8.14 \cdot 10^{10} \text{ Па}$, коэффициент Пуассона $\sigma = 0.29$, плотность $\rho = 7.8 \cdot 10^3 \text{ кг м}^{-3}$.

30 При наличии в трубе жидкости соколеблющаяся масса этой жидкости добавляется к массе трубопровода на частоте ниже f_0 , равной

$$f_0 = \frac{C_0}{2\pi R_{cp}}, \quad (7)$$

35 где C_0 - скорость звука в жидкости, заполняющей трубопровод.

При нахождении трубопровода в жидкости соколеблющаяся масса [Е. Скучик. Основы акустики. -М.: ИЛ, 1958, том 1, -617с] составляет $m_c = \pi R_{cp}^2 \rho_{ж}$. Видно, что на частотах, больших

$$40 \quad f > \frac{C_{п.пл.}}{2\pi R_{cp}} \quad (8)$$

по трубопроводу движутся акустические волны с разной скоростью распространения. Поэтому групповую скорость распространения акустического сигнала по трубе необходимо 45 определить экспериментально, тем более, что в дюкере может быть разное крепление трубы.

Для этого в способ введена следующая операция: на известном расстоянии R_0 от точки расположения акустических датчиков создают искусственное акустическое возбуждение в трубе и в среде с частотами, лежащими в диапазоне от f_n до f_b фильтров.

50 Сигналы искусственного шумоизлучения принимают первым и вторым акустическими датчиками 1.1 и 1.2, первым - акустически изолированным от шума в среде, и вторым - принимающим шум в среде.

С помощью фильтров 3.1 и 3.2 производят фильтрацию принятых сигналов

искусственного шумоизлучения.

Фильтры выбраны так, чтобы обеспечить выделение шума струи из некоторого минимального повреждения, например, с диаметром $D=5 \cdot 10^{-3}$ м. Максимум шума струи течи, вырывающейся из трубопровода, наблюдается при числе Струхала

$$5 \quad Ch = \frac{fD}{U} = 0,275, \quad (9)$$

где f - частота в Гц, U - скорость истечения струи в м/с⁻¹. Основная энергия шумоизлучения струи сосредоточена в диапазоне от $fD=0,21$ до $\frac{fD}{U} = 0,3$

10 [А.Г.Мунин, М.А. Щепочкин. Спектр звуковой мощности дозвуковой струи. - Акуст журнал, том. XVIII, 1972, вып.2, с.292-298].

Следовательно, нижнюю границу фильтра можно выбрать $f_H = 0,21 \frac{U}{D}$, а верхнюю

15 границу фильтра $f_B = 0,3 \frac{U}{D}$.

Усиливают принятые датчиками 1.1 и 1.2 отфильтрованные сигналы с помощью усилителей 3.1 и 3.2, преобразуют их в цифровые сигналы с помощью АЦП 4.1 и 4.2.

20 Определяют взаимный спектр этих сигналов где $G_0(f)$ - энергетический спектр

$$G_{12}(f) = \frac{1}{R_0^2} G_0(f) \cdot (\cos 2\pi f t_{3,и} - i \sin 2\pi f t_{3,и}),$$

искусственного шума на единичном расстоянии; $t_{3,и}$ - время задержки искусственного сигнала в среде, относительно сигнала, распространяющегося по трубе.

25 Время задержки определяют по частотам нулевых значений действительной или мнимой частей взаимного спектра или в виде

$$t_{3,и} = \frac{1}{2\pi f} \arctg \frac{\text{Im}[G_{12}(f)]}{\text{Re}[G_{12}(f)]}, \quad \text{где } \text{Im}[\bullet], \text{Re}[\bullet] - \text{символы мнимой и действительной}$$

30 частей.

Определяют скорость распространения групповых волн, распространяющихся по трубопроводу. Учитывая, что время задержки между искусственно созданными сигналами:

$$35 \quad t_{3,и} = R_0 \frac{C_{тр} - C_{ср}}{C_{тр} \cdot C_{ср}}, \quad \text{где } C_{тр}, C_{ср} - \text{соответственно скорости распространения акустических}$$

волн по трубопроводу и в окружающей среде. По алгоритму в виде последовательности приведенных выше выражений (1), (2), (3), (4), (5), (6), (7), (8), (9) и при известных значениях R_0 , t_3 и $C_{ср}$ нетрудно найти:

$$40 \quad C_{тр} = \left(\frac{1}{C_{ср}} - \frac{t_3}{R_0} \right)^{-1}, \quad (10)$$

что и осуществляется в блоке 6.

45 Прекращают излучение искусственного сигнала, ведут наблюдение за сигналами, принятыми датчиками 1.1 и 1 2, и при появлении сигналов течи производят процедуры дискретизации, фильтрации, усиления и взаимоспектральной обработки сигналов шума течи по той же процедуре, что и для сигналов искусственного излучения.

Определяют время задержки по частотам нулевых значений действительной или мнимой частей взаимного спектра или в виде

$$50 \quad t_3 = \frac{1}{2\pi f} \arctg \frac{\text{Im}[G_{12}(f)]}{\text{Re}[G_{12}(f)]}, \quad (11)$$

где $\text{Im}[\bullet], \text{Re}[\bullet]$ - символы мнимой и действительной частей.

Находят расстояние r до места течи по времени задержки t_3 между акустическими сигналами, распространяющимися по трубе и в среде, в виде

$$r = t_3 \frac{C_{\text{тр}} \cdot C_{\text{ср}}}{C_{\text{тр}} - C_{\text{ср}}}. \quad (12)$$

Взаимоспектральный анализ осуществляется в блоке 5. Определение расстояния r выполняется по выражениям (10),(11),(12) в блоке 6. Данные о $C_{\text{тр}}$ и $C_{\text{ср}}$ заносятся в блок памяти 8. Результаты измерений значения r выводятся на индикатор 7. Блок управления 9 обеспечивает синхронизацию работы устройства.

Построение блоков устройства известно из практики. Экранирование акустических датчиков известно, например, из книги В.Е.Глазанов. Экранирование гидроакустических антенн. -Л.: Судостроение, 1986. - 148 с.

В качестве искусственного источника может быть использован электродинамический источник вибрации (смотрите, например, В.Е.Гольский. Виброакустика автомобиля. -М. Машиностроение, 1988. -с.73) или молоточковый излучатель - стандартный источник вибраций (ГОСТ 15116-79, стандарт ИСО 140).

Таким образом, заявленные способ и устройство реализуют требуемый технический результат.

Формула изобретения

1. Способ определения места течи в трубопроводе, содержащий прием шумовых сигналов течи первым и вторым акустическими датчиками, преобразование этих шумовых сигналов течи в электрические сигналы, фильтрацию и дискретизацию электрических сигналов и определение места течи по времени задержки шумовых сигналов течи, принятых первым и вторым акустическими датчиками, отличающийся тем, что первый и второй акустические датчики установлены на трубопроводе рядом, первый акустический датчик имеет акустический контакт с трубопроводом и акустически заэкранирован от акустических волн в окружающей трубопровод среде, а второй акустически заэкранирован от акустических волн, распространяющихся по трубопроводу, предварительно на фиксированном расстоянии R_n от датчиков возбуждают в трубопроводе и в окружающей его среде искусственный шумовой сигнал, принимают искусственный шумовой сигнал, распространяющийся по трубопроводу первым акустическим датчиком, шумовой сигнал, распространяющийся по окружающей трубопровод среде вторым акустическим датчиком, электрические сигналы первого и второго акустических датчиков после фильтрации и дискретизации подвергают взаимоспектральной обработке, по данным о действительной и мнимой частях взаимного спектра, величине R_n и скорости распространения акустических волн в среде находят скорость распространения групповых волн в трубопроводе, при наличии течи производят взаимоспектральную обработку преобразованных в электрические сигналы отфильтрованных, дискретизированных сигналов течи, принятых первым и вторым акустическими датчиками, время задержки шумовых сигналов течи, принятых первым и вторым акустическими датчиками, определяют по данным о действительной и мнимой частях взаимного спектра шумовых сигналов течи, после чего определяют место течи с учетом скорости распространения акустических волн в среде и скорости групповых волн в трубопроводе.

2. Способ определения места течи по п.1, отличающийся тем, что фильтрацию осуществляют в полосе частот от нижней частоты $f_n = 0,21 \frac{U}{D}$ до верхней частоты

$f_b = 0,3 \frac{U}{D}$, где U - скорость струи течи, D - диаметр минимального отверстия течи,

подлежащей обнаружению.

3. Устройство определения места течи в трубопроводе, включающее первый и второй приемные тракты, каждый из которых содержит последовательно соединенные первый и

второй акустический датчик соответственно, усилитель, фильтр и аналого-цифровой преобразователь, отличающееся тем, что первый акустический датчик имеет акустический контакт с трубопроводом и акустически заэкранирован от акустических волн в окружающей трубопровод среде, а второй акустический акустически заэкранирован от акустических волн, распространяющихся по трубопроводу, в устройство введены последовательно соединенные анализатор взаимного спектра, первый и второй входы которого соединены с выходами аналого-цифровых преобразователей первого и второго приемного трактов соответственно, блок вычисления расстояния и скорости распространения групповых волн в трубопроводе и индикатор, также введен блок памяти скоростей распространения групповых волн в трубопроводе и в окружающей трубопровод среде, вход которого соединен со вторым выходом, а выход - со вторым входом блока вычисления расстояния и скорости распространения групповых волн в трубопроводе, также введен блок управления, синхровходы и синхровыходы которого соединены с аналого-цифровым преобразователем, с анализатором взаимного спектра, с блоком вычисления расстояния и скорости распространения групповых волн в трубопроводе, с блоком памяти скоростей распространения групповых волн в трубопроводе и в окружающей трубопровод среде и с индикатором, также введен искусственный источник акустического сигнала, акустически связанный с первым акустическим датчиком по трубопроводу, а со вторым акустическим датчиком - по окружающей трубопровод среде.