

(19)



**Евразийское  
патентное  
ведомство**

(11) **047257**

(13) **B1**

(12) **ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ЕВРАЗИЙСКОМУ ПАТЕНТУ**

(45) Дата публикации и выдачи патента  
**2024.06.26**

(51) Int. Cl. **G01H 9/00** (2006.01)

(21) Номер заявки  
**202392378**

(22) Дата подачи заявки  
**2022.03.21**

---

(54) **СИСТЕМА ОБНАРУЖЕНИЯ И РАСПОЗНАВАНИЯ АКУСТИЧЕСКИХ И/ИЛИ  
ВИБРАЦИОННЫХ АНОМАЛИЙ, СВЯЗАННЫХ С ОБЪЕКТОМ МОНИТОРИНГА**

---

(31) **102021000007157**

(72) Изобретатель:

(32) **2021.03.24**

**Чиринна Фабио, Буза Андреа  
Джорджио (IT)**

(33) **IT**

(43) **2023.11.30**

(74) Представитель:

(86) **PCT/IB2022/052554**

**Ловцов С.В., Вилесов А.С., Гавриков  
К.В., Коптева Т.В., Левчук Д.В.,  
Стукалова В.В. (RU)**

(87) **WO 2022/200994 2022.09.29**

(71)(73) Заявитель и патентовладелец:  
**ЛЕОНАРДО С.П.А. (IT)**

(56) **US-A1-2020190971  
US-A1-2018080812  
WO-A1-2019159103**

---

(57) Изобретение относится к системе (100) обнаружения и распознавания акустических аномалий и/или вибрационных аномалий, связанных с объектом мониторинга. Эта система предусматривает блок (10), в котором для распределенных акустических измерений (DAS) и/или распределенных вибрационных измерений (DVS) по меньшей мере одной акустической и/или вибрационной аномалии, связанной с объектом, и для генерации аварийного сигнала (S1), характерного для обнаружения по меньшей мере одной такой аномалии, применяют оптическое волокно; один или несколько акустико-электрических преобразователей (20), функционально связанных с объектом с целью обнаружения одного или нескольких звуковых сигналов от окружающей среды, относящихся по меньшей мере к одной акустической и/или вибрационной аномалии, и преобразования таких звуковых сигналов от окружающей среды в электрические сигналы; модуль (30) классификации звуковых сигналов, подключенный к одному или нескольким таким акустико-электрическим преобразователям и рассчитанный на классификацию электрических сигналов, сгенерированных, исходя по меньшей мере из одного алгоритма анализа данных и машинного обучения информации на данных, с целью генерации классификационного сигнала (S2), свидетельствующего о том, что по меньшей мере одна обнаруженная аномалия включена в набор распознанных аномалий или представляет собой неизвестную акустическую и/или вибрационную аномалию; модуль (40) коррелятора, рассчитанный на получение аварийного сигнала и классификационного сигнала и на сопоставление таких сигналов с прошедшим отбор аварийным сигналом (S3) в промежутке (T1, T2, T3) времени обнаружения; при этом прошедший отбор аварийный сигнал рассчитан на обеспечение закодированной информации, свидетельствующей о том, что в промежутке времени обнаружения аварийный сигнал представляет распознанную акустическую и/или вибрационную аномалию или неизвестную акустическую и/или вибрационную аномалию.

---

**B1**

**047257**

**047257**

**B1**

### **Область техники, к которой относится изобретение**

Настоящее изобретение касается системы обнаружения и распознавания акустических аномалий и/или вибрационных аномалий, связанных с объектом мониторинга, например трубой для транспортировки жидких сред или газов.

В частности, система позволяет распознавать акустические и/или вибрационные аномалии, обнаруженные блоком сигнализации, работающим по принципу распределенных акустических измерений/распределенных вибрационных измерений, путем сопоставления информации системы сигнализации, полученной от такого блока распределенных акустических измерений/распределенных вибрационных измерений, со звуковой информацией от окружающей среды, связанной с этими аномалиями, с целью сокращения количества ложных срабатываний, которые генерирует блок распределенных акустических измерений/распределенных вибрационных измерений.

### **Предшествующий уровень техники настоящего изобретения**

В системах, предназначенных для транспортировки текучих сред и газов, например нефтяных трубопроводах или газовых трубопроводах, существует необходимость обнаружения утечек текучих сред (обнаружения течи) из труб или трубопроводов.

В некоторых известных способах, которые в настоящее время используют с целью обнаружения утечек из труб для текучих сред, применяют оптические волокна. В частности, оптоволоконное оборудование для обнаружения утечек известного типа, работающее, например, согласно способу распределенных акустических измерений (DAS) или распределенных вибрационных измерений (DVS), базируется на анализе акустических/вибрационных сигналов, воздействие которых передают посредством оптического волокна.

В частности, оборудование распределенных акустических измерений предусматривает установку оптоволоконных кабелей параллельно трубе, которая представляет собой объект мониторинга, с целью создания системы сбора данных в реальном времени.

Известно, что акустические возмущения, а также вибрации создают микроскопические деформации и сжатия оптического волокна, которые вызывают изменения фазы и амплитуды оптических волн, передаваемых посредством этого волокна. В частности, вибрации, вызванные выходом текучей среды из места утечки в трубе, изменяют характеристики отраженной волны, соответствующей оптической волне, которую передают по волокну, и эти изменения могут обнаруживать, что позволяет сигнализировать о такой утечке. Кроме того, местоположение утечки по ходу трубы могут определять путем измерения времени задержки между моментом излучения передаваемой оптической волны и моментом обнаружения отраженной волны.

При этом известное оборудование для обнаружения утечек в трубах имеет ограничения и недостатки.

Конечно, оборудование распределенных акустических измерений/распределенных вибрационных измерений не очень эффективно в присутствии акустических/вибрационных возмущений, вызванных деятельностью человека, или возмущений в окружающей среде вблизи от трубы, которая представляет собой объект мониторинга. Такое снижение эффективности связано в основном с увеличением количества ложноположительных срабатываний аварийной сигнализации в связи с ложными сигналами от оборудования DAS/DVS.

Средства калибровки этого оборудования, которые обычно применяют с целью настройки его чувствительности, в некоторых случаях совершенно бесполезны и операторам оборудования зачастую приходится отключать их.

Однако такое отключение влечет за собой большие затраты оператора оборудования.

Поэтому существует острая потребность в разработке решения, которое позволяет при применении DAS/DVS точнее различать акустические возмущения, на самом деле связанные с утечками текучей среды из труб, и тем самым сокращать количество ложноположительных срабатываний аварийной сигнализации такого оборудования.

### **Краткое раскрытие настоящего изобретения**

Цель настоящего изобретения заключается в разработке и обеспечении системы обнаружения и распознавания акустических аномалий и/или вибрационных аномалий, связанных с объектом мониторинга, например трубой для текучих сред, таких как нефтяной трубопровод или газовый трубопровод, при этом система позволяет, по меньшей мере, устранить недостатки, перечисленные выше в отношении упомянутых известных решений.

Настоящее решение обеспечивает систему обнаружения и распознавания акустических и/или вибрационных аномалий посредством оборудования распределенных акустических измерений/распределенных вибрационных измерений, которое также рассчитано на обнаружение помех окружающей среды, связанных с такими аномалиями, с целью сокращения количества ложных срабатываний оборудования распределенных акустических измерений/распределенных вибрационных измерений в присутствии внешних помех, например, деятельности человека или возмущений в окружающей среде.

В частности, предлагаемая система предусматривает:

один или несколько микрофонов;

модуль классификации звуковых сигналов, подключенный к этим микрофонам;  
блок обнаружения акустических и/или вибрационных аномалий, которые вызваны, например, утечками текучих сред из трубы (обнаружением течи), базирующийся на методе распределенных акустических измерений/распределенных вибрационных измерений;

модуль коррелятора.

Согласно одному варианту осуществления, внешний звуковой сигнал, полученный посредством одного или нескольких микрофонов, которые располагают вдоль трубы для текучих сред, представляющей собой объект мониторинга, подвергают классификации при помощи алгоритмов машинного обучения или глубокого обучения, в которых используются сверточные нейронные сети.

Аварийные сигналы, которые генерирует этот блок на базе методов распределенных акустических измерений/распределенных вибрационных измерений, сопоставляют с выходным сигналом, генерируемым в модуле классификации внешних звуковых сигналов, что позволяет определять уровень серьезности таких аварийных сигналов.

Например, низкий уровень серьезности связан с аварийным сигналом, который блок распределенных акустических измерений/распределенных вибрационных измерений генерирует при распознавании звуковых сигналов от деятельности человека или помех окружающей среды обученным на них модулем классификации.

В предпочтительном варианте осуществления в присутствии аварийных сигналов, сгенерированных блоком распределенных акустических измерений/распределенных вибрационных измерений, в модуле коррелятора анализируют выходной сигнал модуля классификации звуковых сигналов-помех окружающей среды:

если существуют классифицированные/распознанные помехи окружающей среды, модуль коррелятора генерирует аварийный сигнал низкой серьезности;

если существуют неклассифицированные/нераспознанные помехи окружающей среды, модуль коррелятора генерирует аварийный сигнал средней/высокой серьезности.

В другом варианте осуществления модуль классификации могут обучать классификации звуковых сигналов, которые для блока распределенных акустических измерений/распределенных вибрационных измерений расценивают как элементы помех.

Цели настоящего изобретения достигают при помощи системы обнаружения и распознавания акустических и/или вибрационных аномалий в соответствии с п.1 формулы изобретения.

Предпочтительные варианты осуществления такой системы описаны в зависимых пунктах формулы изобретения.

Настоящее изобретение также касается способа обнаружения и распознавания акустических аномалий и/или вибрационных аномалий, связанных с объектом мониторинга в соответствии с п.12 формулы изобретения.

#### **Краткое описание фигур**

Другие особенности и преимущества системы и способа согласно настоящему изобретению станут очевидными из нижеследующего описания предпочтительных вариантов осуществления, представленных в виде наглядных примеров, не имеющих ограничительного характера, со ссылкой на прилагаемые чертежи, где:

на фиг. 1 представлена блок-диаграмма для демонстрации системы обнаружения и распознавания акустических аномалий и/или вибрационных аномалий, связанных с объектом мониторинга в соответствии с настоящим изобретением;

на фиг. 2 представлена функциональная схема для демонстрации стадий способа обнаружения и распознавания акустических аномалий и/или вибрационных аномалий, которая реализована в виде системы, показанной на фиг. 1;

на фиг. 3А-3С графически показаны примеры соответственно классификационного сигнала, аварийного сигнала и прошедшего отбор аварийного сигнала в зависимости от времени, относящиеся к системе обнаружения и распознавания акустических аномалий и/или вибрационных аномалий, показанной на фиг. 1.

На упомянутых выше чертежах идентичные или аналогичные элементы обозначены как одинаковые позиции.

#### **Подробное раскрытие настоящего изобретения**

На фиг. 1 система обнаружения и распознавания акустических аномалий и/или вибрационных аномалий, связанных с объектом мониторинга в соответствии с настоящим изобретением, обозначена числом 100.

Такая система 100 обнаружения и распознавания акустических аномалий и/или вибрационных аномалий ниже названа системой обнаружения и распознавания или, проще, системой.

В предпочтительном варианте осуществления, без ограничений, выражение "объект" в настоящем описании используется с целью обозначения трубопровода или трубы для транспортировки текучих сред или газов, например нефтяного трубопровода или газового трубопровода, за которым необходимо осуществлять наблюдение. При этом настоящее изобретение преимущественно применимо также к другим

типам объектов или активов, на которых можно осуществлять мониторинг с применением такого же оборудования.

Кроме того, выражения "акустическая аномалия" или "вибрационная аномалия" использованы ниже для обозначения акустических/вибрационных возмущений, вызванных деятельностью человека, например, помех, вызванных движущимися механическими устройствами, двигателями и аналогичными внешними возмущениями.

Предлагаемая система 100 обнаружения и распознавания предусматривает блок 10, в котором для распределенных акустических измерений (DAS) и/или распределенных вибрационных измерений (DVS) по меньшей мере одной акустической и/или вибрационной аномалии, связанной с таким объектом, применяют оптическое волокно. В частности, в оптоволоконном оборудовании для обнаружения утечек (обнаружения течи) по ходу трубы для транспортировки текучих сред или газов реализуют блок 10, при этом оборудование работает, например, согласно способу DAS (распределенных акустических измерений) или способу DVS (распределенных вибрационных измерений).

Известно, что такое оптоволоконное оборудование применяют для обнаружения аварий и оповещения о них, например утечках из труб, например, на основе анализа акустических/вибрационных сигналов, которые передают посредством оптического волокна.

В частности, такой блок 10 DAS/DVS рассчитан на генерацию аварийного сигнала S1, характерного для обнаружения по меньшей мере одной вышеупомянутой акустической и/или вибрационной аномалии, связанной с трубой для текучих сред или с окрестностями такой трубы.

Кроме того, система 100 предусматривает один или несколько акустико-электрических преобразователей 20, в частности, один или несколько микрофонов, функционально связанных с объектом мониторинга. Такие акустико-электрические преобразователи 20 рассчитаны на обнаружение одного или нескольких звуковых сигналов от окружающей среды, связанных по меньшей мере с одной акустической и/или вибрационной аномалией, и преобразование упомянутых выше звуковых сигналов от окружающей среды в электрические сигналы.

Помимо этого, предлагаемая система 100 предусматривает модуль 30 классификации звуковых сигналов, подключенный к вышеупомянутому одному или нескольким акустико-электрическим преобразователям 20 и рассчитанный на классификацию электрических сигналов, сгенерированных преобразователями, исходя по меньшей мере из одного алгоритма анализа данных и машинного обучения информации на данных.

Согласно одному варианту осуществления, по меньшей мере один такой алгоритм анализа данных предусматривает машинное обучение и/или алгоритм глубокого обучения, основанный на сверточной нейронной сети (CNN).

В частности, вышеупомянутый модуль 30 классификации звуковых сигналов рассчитан на генерацию классификационного сигнала S2, свидетельствующего о том, что по меньшей мере одна вышеупомянутая обнаруженная акустическая и/или вибрационная аномалия включена в набор распознанных аномалий или представляет собой неизвестную акустическую и/или вибрационную аномалию.

Система 100 обнаружения и распознавания дополнительно предусматривает модуль 40 коррелятора, рассчитанный на получение вышеупомянутого аварийного сигнала S1 и классификационного сигнала S2 и сопоставление такого аварийного сигнала S1 с классификационным сигналом S2 за промежуток T1, или T2, или T3 времени обнаружения.

Следует отметить, что такой промежуток времени обнаружения включает в себя промежуток времени, который содержит момент времени, к которому относится авария, о которой оповещает аварийный сигнал S1. В частности, на фиг. 3A, 3B и 3C изображены первый T1, второй T2 и третий T3 промежутки времени обнаружения, имеющие одинаковую продолжительность, например 5 с. Центр первого промежутка T1 времени обнаружения находится на 10 с, центр второго промежутка T2 времени обнаружения находится на 15 с, центр третьего промежутка T3 времени обнаружения находится на 25 с.

Модуль 30 классификации звуковых сигналов и модуль 40 коррелятора в предлагаемой системе 100 предпочтительно представляют собой программные модули, рассчитанные на загрузку в память, в частности, энергонезависимого типа, блока обработки, например блока управления аварийными сигналами, сгенерированными блоком 10 распределенных акустических измерений/распределенных вибрационных измерений.

Такие программные модули рассчитаны на исполнение соответствующим блоком обработки (центральным процессором или графическим процессором), которым оборудуют вышеупомянутый блок управления.

Модуль 40 коррелятора рассчитан преимущественно на генерацию прошедшего отбор аварийного сигнала S3. Такой прошедший отбор аварийный сигнал рассчитан на обеспечение закодированной информации, свидетельствующей о том, что аварийный сигнал S1, сгенерированный блоком 10 распределенных акустических измерений/распределенных вибрационных измерений, в промежуток T1, T2 или T3 времени обнаружения представляет распознанную акустическую и/или вибрационную аномалию или неизвестную акустическую и/или вибрационную аномалию.

Другими словами, предлагаемая система 100 предусматривает два отдельных устройства или блока

для обнаружения акустических и/или вибрационных аномалий, связанных с одним объектом мониторинга, то есть, оптоволоконное устройство типа DAS/DVS и микрофонное устройство 20, подключенное к модулю 30 классификации.

Как видно из фиг. 1, такие устройства работают параллельно и передают разные сигналы, связанные с одним и тем же объектом мониторинга, на модуль 40 коррелятора с тем, чтобы с его помощью определять, действительно ли аварийный сигнал S1, сгенерированный оптоволоконным блоком DAS/DVS, является характерным для аварийной ситуации.

Другими словами, прошедший отбор аварийный сигнал S3 представляет собой улучшенный аварийный сигнал, который после обнаружения акустической и/или вибрационной аномалии позволяет определить был ли аварийный сигнал S1, сгенерированный блоком 10 DAS/DVS, обусловлен акустическим возмущением, которое можно отнести на счет известной деятельности человека, и потому его можно отнести к аварийным сигналам низкого уровня серьезности, или он был обусловлен акустическим возмущением, которое неизвестно точно или совсем неизвестно, и поэтому аварийный сигнал имеет средний/высокий уровень серьезности, т.е. требует повышенного внимания. Например, акустическое возмущение, которое неизвестно модулю 30 классификации, а потому способное генерировать аварийный сигнал высокого уровня серьезности, который требует повышенного внимания, может представлять собой возмущение, связанное с утечкой из трубы для текучих сред.

В примере на фиг. 3В аварийный сигнал S1, обнаруженный в первый T1, второй T2 и третий T3 промежутки времени, имеет амплитуду, равную единице.

В предпочтительном варианте осуществления такой прошедший отбор аварийный сигнал S3 представляет собой сигнал, который схематически можно изобразить в виде импульсов конечной длительности, например, импульсов прямоугольной формы. Каждый из таких импульсов конечной длительности прошедшего отбор аварийного сигнала S3, исходя из классификационного сигнала S2, принимает:

первое значение  $v_1$ ,  $v_1'$  амплитуды, которое свидетельствует о том, что аварийный сигнал S1 является представительным для распознанной акустической и/или вибрационной аномалии в промежуток времени обнаружения, например в первый T1 или третий T3 промежуток времени;

второе значение  $v_2$  амплитуды, которое свидетельствует о том, что аварийный сигнал S1 является представительным для неизвестной акустической и/или вибрационной аномалии в промежуток времени обнаружения, например во второй промежуток T2 времени.

Согласно одному варианту осуществления, со ссылкой на фиг. 3А-3С, вышеупомянутый классификационный сигнал S2 в промежуток времени обнаружения принимает дискретное значение, например, между нулем и единицей, в частности, в каждый из трех промежутков T1, T2 и T3 времени. Такое дискретное значение, которое принимает классификационный сигнал S2, свидетельствует о некотором уровне достоверности классификации. Это позволяет определить, является ли по меньшей мере одна обнаруженная акустическая и/или вибрационная аномалия распознанной аномалией, например помехой, связанной с механическими устройствами или двигателем, или неизвестной аномалией.

В соответствии с другим вариантом осуществления первое значение амплитуды прошедшего отбор аварийного сигнала S3 с импульсами представляет собой:

первую амплитуду  $v_1$ , когда классификационный сигнал S2 принимает дискретное значение, большее 0,8 в промежуток времени обнаружения, например в третий промежуток T3 времени;

еще одну первую амплитуду  $v_1'$ , когда классификационный сигнал S2 принимает дискретное значение, меньшее 0,8 и большее 0,5 в промежуток времени обнаружения, например в первый промежуток T1 времени;

Согласно одному конкретному варианту осуществления, вышеупомянутое первое значение  $v_1$ ,  $v_1'$  амплитуды прошедшего отбор аварийного сигнала S3 с импульсами меньше второго значения  $v_2$  амплитуды.

Согласно примеру на фиг. 3С, прошедший отбор аварийный сигнал S3 в каждый промежуток T1, T2, T3 времени обнаружения может иметь значения амплитуды между нулем и единицей. В частности, первая амплитуда  $v_1$  равна 0,6 и дополнительная первая амплитуда  $v_1'$  равна 0,3.

Согласно одному варианту осуществления, импульс прошедшего отбор аварийного сигнала S3 конечной длительности принимает второе значение  $v_2$  амплитуды, когда классификационный сигнал S2 принимает дискретное значение меньшее 0,5 в промежуток времени обнаружения, например во второй промежуток T2 времени. В частности, в примере на фиг. 3С второе значение  $v_2$  амплитуды прошедшего отбор аварийного сигнала S3 равно единице.

Согласно примеру на фиг. 3А и 3В, как было упомянуто выше, это означает, что аварийный сигнал S1, обнаруженный блоком 10 DAS/DVS во второй промежуток T2 времени обнаружения, равен сигналу, который неизвестен модулю 30 классификации, и поэтому представляет собой сигнал, требующий большего внимания, так как он с более высокой вероятностью связан с утечкой из находящейся под наблюдением трубы с текучей средой.

Согласно другому варианту осуществления, если модуль 40 коррелятора не способен принять вышеупомянутый классификационный сигнал S2, модуль 40 коррелятора рассчитан на генерацию прошедшего отбор аварийного сигнала S3 с импульсами, причем каждый из таких импульсов имеет конечную

длительность и принимает второе значение  $v_2$  амплитуды. В этом случае прошедший отбор аварийный сигнал S3 также свидетельствует об аварийном сигнале высокой серьезности.

Ниже приведены примеры информации, связанной с аварийным сигналом S1, классификационным сигналом S2 и прошедшим отбор аварийным сигналом S3.

Согласно примеру применения трубы для текучих сред (например, нефтяного трубопровода), аварийный сигнал S1 представляет собой сигнал, для которого помимо значения амплитуды могут формировать набор данных, содержащий следующие поля:

id - список объектов; каждый объект содержит значения давления, относящиеся к некоторой станции;

type - вид технологии, примененной для установления местонахождения события;

chainage - пикетаж, расстояние в метрах от начала нефтяного трубопровода;

coordinates - широта и долгота события;

created\_at - дата события, рассчитанная системой согласно Стандарту ISO 8601. Формат даты YYYY-MM-DDThh:mm:ssZ (где T применяют в качестве разделителя между датой и временем, а Z указывает на то, что время приведено в формате UTC);

localization\_error - точность установления местонахождения события, оцененная в метрах;

station\_id - идентификатор станции, ближайшей к событию с установленным местонахождением.

Что касается классификационного сигнала S2, для него формируют набор данных, содержащий следующие поля:

from - начало временного интервала;

to - конец временного интервала;

Categories - набор классов помех окружающей среды, определенных в модели (включая достоверность).

Прошедший отбор аварийный сигнал S3 представляет собой сигнал, для которого помимо значения амплитуды могут формировать набор данных, содержащий следующие поля:

id - список объектов; каждый объект содержит значения давления, относящиеся к некоторой станции;

type - вид технологии, примененной для установления местонахождения события;

chainage - пикетаж, расстояние в метрах от начала нефтяного трубопровода;

coordinates - широта и долгота события;

created\_at - дата события, рассчитанная системой согласно Стандарту ISO 8601. Формат даты YYYY-MM-DDThh:mm:ssZ (где T применяют в качестве разделителя между датой и временем, а Z указывает на то, что время приведено в формате UTC);

localization\_error - погрешность установления местонахождения, оцененная в метрах;

station\_id - идентификатор станции, ближайшей к событию с установленным местонахождением;

Severity - Низкая/Средняя/Высокая (серьезность);

AudioCategory - категория звука Механический/Двигатель/Грузовик/Неизвестно/ и пр.

Кроме того, согласно примеру на фиг. 1, следует отметить, что упомянутые один или несколько акустико-электрических преобразователей системы 100 представляют собой микрофоны 20.

Согласно первому варианту осуществления, каждый микрофон 20 рассчитан на определение первой области охвата микрофоном, внутри которой затухание одного или нескольких звуковых сигналов от окружающей среды, связанных по меньшей мере с одной акустической и/или вибрационной аномалией, составляет менее 6 дБ.

Согласно одному конкретному варианту осуществления, каждый микрофон 20 рассчитан на определение второй области охвата микрофоном, внутри которой затухание одного или нескольких звуковых сигналов от окружающей среды, связанных по меньшей мере с одной акустической и/или вибрационной аномалией, составляет менее 3 дБ.

Исходя из вышесказанного, специалисты в данной области техники могут оценить расстояние между микрофонами и расстояние от трубы с текучей средой, на котором микрофоны 20 системы 100 могут размещать надлежащим образом для мониторинга трубы.

Согласно фиг. 2, ниже описан способ 200 обнаружения и распознавания акустических аномалий и/или вибрационных аномалий, реализованный при помощи предлагаемой описанной выше системы 100.

Такой способ 200 предусматривает символическую стадию начала "STR" и символическую стадию конца "ED".

В частности, такой способ предусматривает стадию 201 обнаружения по меньшей мере одной акустической и/или вибрационной аномалии, связанной с упомянутым выше объектом, в частности с трубой для текучих сред, нефтяным трубопроводом или газовым трубопроводом.

Способ 200 дополнительно предусматривает стадию 202 генерации аварийного сигнала S1, характерного по меньшей мере для одной обнаруженной вышеупомянутой акустической и/или вибрационной аномалии.

Стадии 201, 202 выполняют при помощи блока 10 DAS/DVS системы 100.

Способ 200 предусматривает затем стадию 203 обнаружения одного или нескольких звуковых сиг-

налов от окружающей среды, связанных по меньшей мере с одной обнаруженной вышеупомянутой акустической и/или вибрационной аномалией. Также предусматривают преобразование вышеупомянутых звуковых сигналов от окружающей среды в электрические сигналы. Эту стадию выполняют при помощи микрофонов 20.

Способ 200 также предусматривает стадию классификации 204 электрических сигналов, сгенерированных, исходя, по меньшей мере, из одного алгоритма анализа данных и машинного обучения информации на данных.

Также предусматривают стадию 205 генерации классификационного сигнала S2, свидетельствующего о том, что по меньшей мере одна вышеупомянутая обнаруженная акустическая и/или вибрационная аномалия включена в набор распознанных аномалий или представляет собой неизвестную акустическую и/или вибрационную аномалию.

Эти стадии 204, 205 выполняют при помощи модуля 30 классификации звуковых сигналов системы 100.

Способ 200 дополнительно предусматривает стадию 206 сопоставления аварийного сигнала S1 и классификационного сигнала S2 в промежутки T1, или T2, или T3 времени обнаружения.

На основе такого сопоставления способ 200 обеспечивает генерацию 207 прошедшего отбор аварийного сигнала S3. Такой прошедший отбор аварийный сигнал S3 рассчитан на обеспечение закодированной информации, свидетельствующей о том, что аварийный сигнал S1 в промежутки T1, T2, T3 времени обнаружения представляет распознанную акустическую и/или вибрационную аномалию или неизвестную акустическую и/или вибрационную аномалию.

Согласно одному варианту осуществления, вышеупомянутая стадия 207 предусматривает стадию генерации прошедшего отбор аварийного сигнала S3 с импульсами конечной длительности, при этом каждый из таких импульсов, исходя из классификационного сигнала S2, принимает:

первое значение  $v1$ ,  $v1'$  амплитуды, которое свидетельствует о том, что аварийный сигнал S1 является характерным для распознанной акустической и/или вибрационной аномалии в промежуток времени обнаружения, например в первый T1 или третий T3 промежуток времени обнаружения;

второе значение  $v2$  амплитуды, которое свидетельствует о том, что аварийный сигнал S1 является характерным для неизвестной акустической и/или вибрационной аномалии в промежуток времени обнаружения, например во второй промежуток T2 времени обнаружения.

Согласно одному варианту осуществления, вышеупомянутая стадия 204 классификации по способу 200 предусматривает стадию обучения модуля 30 классификации звуковых сигналов в системе 100 с целью распознавания звуковых сигналов от окружающей среды как ложных сигналов для блока 10 распределенных акустических измерений/распределенных вибрационных измерений, обнаруживающего акустические и/или вибрационные аномалии, связанные с объектом мониторинга.

Ниже приведен пример работы модуля 30 классификации звуковых сигналов.

Для каждой акустической и/или вибрационной аномалии, подлежащей классификации, собирают звукозаписи. Каждую звукозапись разделяют на звуковые дорожки длительностью 32 мс. Для каждой дорожки получают характерные особенности звука, в том числе:

- частота переходов через нуль,
- мгновенная энергия,
- мгновенная энтропия энергии,
- спектральный центроид и протяженность спектра,
- спектральная энтропия,
- спектральный поток,
- крутизна спада спектра,
- MFCC (мел-частотные спектральные коэффициенты),
- особенности тонального содержания.

Эти характерные особенности звуковых дорожек применяют для обучения модели машинного обучения/глубокого обучения с целью распознавания отдельных акустических и/или вибрационных аномалий.

Так, в применяемых моделях предусматривают модель гауссовой смеси или GMM и модель контролируемого обучения (нейронные сети).

Модель гауссовой смеси основана на статистическом подходе. Пространство с  $n$  измерениями создают из набора особенностей, которые содержатся в звуковой дорожке, где каждая точка представляет количество вхождений этого конкретного значения носителя особенностей. Такое пространство по существу представляет модель помех, подлежащих классификации.

Кроме того, носители особенностей извлекают для каждой анализируемой дорожки и устанавливают вероятность того, что исследуемая звуковая дорожка принадлежит к отдельному классу.

Модель контролируемого обучения (нейронные сети) обеспечивает обучение нейронной сети с использованием особенностей, извлеченных из отдельных звуковых дорожек, в качестве набора обучающих данных, в дополнение к метке типа помех, с которыми они связаны. Конечные результаты представляют собой классификатор звуковых дорожек на основе нейронных сетей.

Упомянутые выше режимы работы модуля 30 классификации звуковых сигналов известны специалистам в данной области техники.

Как указано выше, система 100 и связанный с ней способ 200 обнаружения и распознавания акустических аномалий и/или вибрационных аномалий, относящихся к объекту мониторинга, согласно настоящему изобретению обладает рядом преимуществ и достигает поставленных целей.

В частности, предлагаемая система 100 позволяет сокращать генерацию ложноположительных аварийных сигналов или ложных срабатываний оборудования, в котором блоки распределенных акустических измерений/распределенных вибрационных измерений применяют с целью обнаружения утечек (обнаружения течи) для мониторинга нефтяных трубопроводов и газовых трубопроводов, при этом система основана на анализе акустических/вибрационных сигналов.

Кроме того, применение предлагаемой системы 100 на участках, находящихся под значительным воздействием деятельности человека, позволяет в некоторых случаях избежать снижения эффективности оборудования DAS/DVS, неспособного учитывать помехи/возмущения, источником которых является деятельность человека на таких участках. Помимо обеспечения мониторинга нефтяного трубопровода/газового трубопровода целиком, это позволяет оператору оборудования сэкономить на затратах, которые обусловлены таким снижением эффективности.

Специалисты в данной области техники могут вносить изменения и приспосабливать варианты осуществления этой системы и предлагаемого способа в пределах объема следующей формулы изобретения либо могут заменять элементы другими, функционально эквивалентными, с тем, чтобы удовлетворить возможные потребности. Все описанные выше особенности, относящиеся к некоторому возможному варианту осуществления, могут быть реализованы независимо от других описанных вариантов осуществления.

#### ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

1. Система (100) обнаружения и распознавания акустических аномалий и/или вибрационных аномалий, которые связаны с объектом мониторинга, являющимся нефтяным трубопроводом или газовым трубопроводом, предусматривающая:

блок (10), в котором для распределенных акустических измерений (DAS) и/или распределенных вибрационных измерений (DVS) по меньшей мере одной акустической и/или вибрационной аномалии, связанной с упомянутым объектом, и для генерации аварийного сигнала (S1), характерного для обнаружения по меньшей мере одной упомянутой акустической и/или вибрационной аномалии, применяют оптическое волокно;

один или несколько акустико-электрических преобразователей (20), функционально связанных с упомянутым объектом мониторинга с целью обнаружения одного или нескольких звуковых сигналов от окружающей среды, относящихся по меньшей мере к одной упомянутой акустической и/или вибрационной аномалии, и преобразования упомянутых звуковых сигналов от окружающей среды в электрические сигналы;

модуль (30) классификации звуковых сигналов, подключенный к одному или нескольким упомянутым акустико-электрическим преобразователям (20) и рассчитанный на классификацию упомянутых электрических сигналов, сгенерированных, исходя по меньшей мере из одного алгоритма анализа данных и машинного обучения информации на данных, с целью генерации классификационного сигнала (S2), свидетельствующего о том, что по меньшей мере одна вышеупомянутая обнаруженная акустическая и/или вибрационная аномалия входит в набор распознанных аномалий или представляет собой неизвестную акустическую и/или вибрационную аномалию;

модуль (40) коррелятора, рассчитанный на получение упомянутого аварийного сигнала (S1) и упомянутого классификационного сигнала (S2) и на postponement в промежутки (T1, T2, T3) времени обнаружения упомянутого аварийного сигнала (S1) и упомянутого классификационного сигнала (S2) с целью генерации прошедшего отбор аварийного сигнала (S3), при этом прошедший отбор аварийный сигнал рассчитан на обеспечение закодированной информации, свидетельствующей о том, что аварийный сигнал (S1) в промежутки (T1, T2, T3) времени обнаружения представляет распознанную акустическую и/или вибрационную аномалию или неизвестную акустическую и/или вибрационную аномалию.

2. Система (100) обнаружения и распознавания акустических аномалий и/или вибрационных аномалий по п.1, в которой упомянутый прошедший отбор аварийный сигнал (S3) представляет собой сигнал с импульсами конечной длительности, при этом каждый из упомянутых импульсов, исходя из классификационного сигнала (S2), принимает:

первое значение ( $v1, v1'$ ) амплитуды, которое свидетельствует о том, что упомянутый аварийный сигнал (S1) является характерным для распознанной акустической и/или вибрационной аномалии в промежутки (T1, T3) времени обнаружения;

второе значение ( $v2$ ) амплитуды, которое свидетельствует о том, что упомянутый аварийный сигнал (S1) является характерным для неизвестной акустической и/или вибрационной аномалии в промежутки (T2) времени обнаружения.

3. Система (100) обнаружения и распознавания акустических аномалий и/или вибрационных аномалий по п.1 или 2, в которой упомянутый классификационный сигнал (S2) в промежуток (T1, T2, T3) времени обнаружения принимает дискретное значение между единицей и нулем, указывающее на уровень достоверности классификации, для определения того, является ли по меньшей мере одна упомянутая акустическая и/или вибрационная аномалия распознанной аномалией или неизвестной аномалией.

4. Система (100) обнаружения и распознавания акустических аномалий и/или вибрационных аномалий по п.2 или 3, в которой упомянутое первое значение амплитуды прошедшего отбор аварийного сигнала (S3) с импульсами конечной длительности представляет собой:

первую амплитуду (v1), когда в промежуток (T3) времени обнаружения классификационный сигнал (S2) принимает дискретное значение, большее 0,8;

еще одну первую амплитуду (v1'), когда в промежуток (T1) времени обнаружения классификационный сигнал (S2) принимает дискретное значение, меньшее 0,8 и большее 0,5.

5. Система (100) обнаружения и распознавания акустических аномалий и/или вибрационных аномалий по п.2 или 3, в которой импульс конечной длительности прошедшего отбор аварийного сигнала (S3) принимает второе значение (v2) амплитуды, когда в промежуток (T2) времени обнаружения классификационный сигнал (S2) принимает дискретное значение, меньшее 0,5.

6. Система (100) обнаружения и распознавания акустических аномалий и/или вибрационных аномалий по п.2, в которой, после того как модулю (40) коррелятора не удалось принять упомянутый классификационный сигнал (S2), модуль (40) коррелятора рассчитан на генерацию прошедшего отбор аварийного сигнала (S3) с импульсами конечной длительности, при этом каждый из упомянутых импульсов принимает упомянутое второе значение (v2) амплитуды.

7. Система (100) обнаружения и распознавания акустических аномалий и/или вибрационных аномалий по любому из пп.1-6, в которой упомянутое первое значение (v1, v1') амплитуды прошедшего отбор аварийного сигнала (S3) с импульсами конечной длительности меньше второго значения (v2) амплитуды.

8. Система (100) обнаружения и распознавания акустических аномалий и/или вибрационных аномалий по п.1, в которой по меньшей мере один упомянутый алгоритм анализа данных и машинного обучения информации непосредственно на данных предусматривает алгоритм машинного обучения и/или глобального обучения, основанный на сверточной нейронной сети (CNN).

9. Система (100) обнаружения и распознавания акустических аномалий и/или вибрационных аномалий по п.1, в которой упомянутый один или несколько акустико-электрических преобразователей представляют собой микрофоны (20), при этом каждый микрофон рассчитан на определение первой области охвата микрофоном, внутри которой затухание одного или нескольких звуковых сигналов от окружающей среды, связанных по меньшей мере с одной акустической и/или вибрационной аномалией, составляет менее 6 дБ.

10. Система (100) обнаружения и распознавания акустических аномалий и/или вибрационных аномалий по п.9, в которой каждый микрофон (20) рассчитан на определение второй области охвата микрофоном, внутри которой затухание одного или нескольких звуковых сигналов от окружающей среды, связанных по меньшей мере с одной акустической и/или вибрационной аномалией, составляет менее 3 дБ.

11. Способ (200) обнаружения и распознавания акустических аномалий и/или вибрационных аномалий, связанных с объектом мониторинга, являющимся нефтяным трубопроводом или газовым трубопроводом, с применением системы (100) по п.1, при этом упомянутый способ предусматривает стадии:

обнаружение (201) по меньшей мере одной акустической и/или вибрационной аномалии, связанной с упомянутым объектом;

генерация (202) аварийного сигнала (S1), характерного по меньшей мере для одной обнаруженной вышеупомянутой акустической и/или вибрационной аномалии;

обнаружение (203) одного или нескольких звуковых сигналов от окружающей среды, связанных по меньшей мере с одной обнаруженной вышеупомянутой акустической и/или вибрационной аномалией, и преобразование упомянутых звуковых сигналов от окружающей среды в электрические сигналы;

классификация (204) упомянутых электрических сигналов, сгенерированных, исходя по меньшей мере из одного алгоритма анализа данных и машинного обучения информации на данных;

генерация (205) классификационного сигнала (S2), свидетельствующего о том, что по меньшей мере одна упомянутая обнаруженная акустическая и/или вибрационная аномалия включена в набор распознанных аномалий или представляет собой неизвестную акустическую и/или вибрационную аномалию;

сопоставление (206) упомянутого аварийного сигнала (S1) и упомянутого классификационного сигнала (S2) в промежуток (T1, T2, T3) времени обнаружения;

генерация (207) прошедшего отбор аварийного сигнала (S3), при этом упомянутый прошедший отбор аварийный сигнал (S3) рассчитан на обеспечение закодированной информации, свидетельствующей о том, что аварийный сигнал (S1) в промежуток (T1, T2, T3) времени обнаружения представляет распознанную акустическую и/или вибрационную аномалию или неизвестную акустическую и/или вибрационную аномалию.

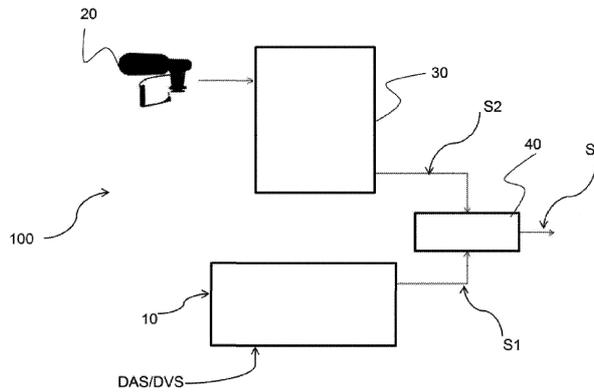
12. Способ (200) обнаружения и распознавания акустических аномалий и/или вибрационных аномалий по п.11, в котором упомянутая стадия генерации (207) предусматривает стадию генерации про-

шедшего отбор аварийного сигнала (S3) с импульсами конечной длительности, при этом каждый из упомянутых импульсов, исходя из классификационного сигнала (S2), принимает:

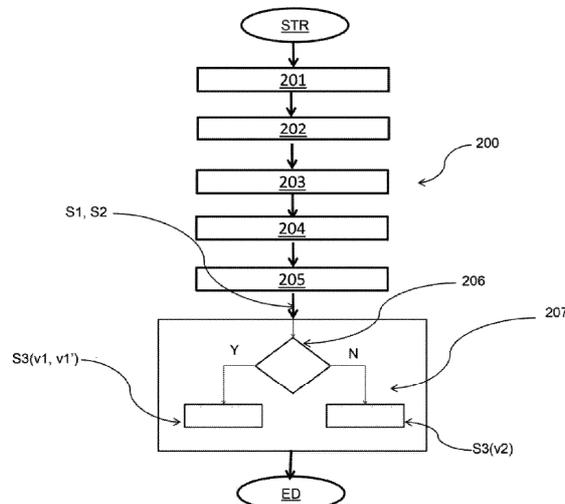
первое значение ( $v1$ ,  $v1'$ ) амплитуды, которое свидетельствует о том, что упомянутый аварийный сигнал (S1) является характерным для распознанной акустической и/или вибрационной аномалии в промежуток (T1, T3) времени обнаружения;

второе значение ( $v2$ ) амплитуды, которое свидетельствует о том, что упомянутый аварийный сигнал (S1) является характерным для неизвестной акустической и/или вибрационной аномалии в промежуток (T2) времени обнаружения.

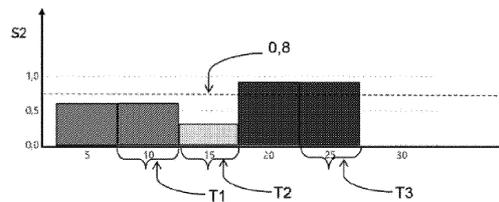
13. Способ (200) обнаружения и распознавания акустических аномалий и/или вибрационных аномалий по п.11, в котором упомянутая стадия классификации (204) предусматривает стадию обучения модуля (30) классификации звуковых сигналов для распознавания звуковых сигналов от окружающей среды как ложных сигналов для блока (10), в котором применяют оптическое волокно для распределенных акустических измерений (DAS) и/или распределенных вибрационных измерений (DVS) акустических и/или вибрационных аномалий, связанных с объектом мониторинга.



Фиг. 1



Фиг. 2



Фиг. 3А

