



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(21)(22) Заявка: 2016135127, 29.08.2016

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
29.08.2016Дата регистрации:
28.07.2017

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 29.08.2016

(45) Опубликовано: 28.07.2017 Бюл. № 22

Адрес для переписки:

644080, г. Омск, пр-кт Мира, 5, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Сибирская государственная автомобильно-дорожная академия (СибАДИ)", патентно-информационный отдел

(72) Автор(ы):

Нигрей Надежда Никитична (RU),
Епифанцев Борис Николаевич (умер),
Комаров Владимир Александрович (RU),
Ищак Екатерина Романовна (RU)

(73) Патентообладатель(и):

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Сибирский государственный автомобильно-дорожный университет (СибАДИ)" (RU)

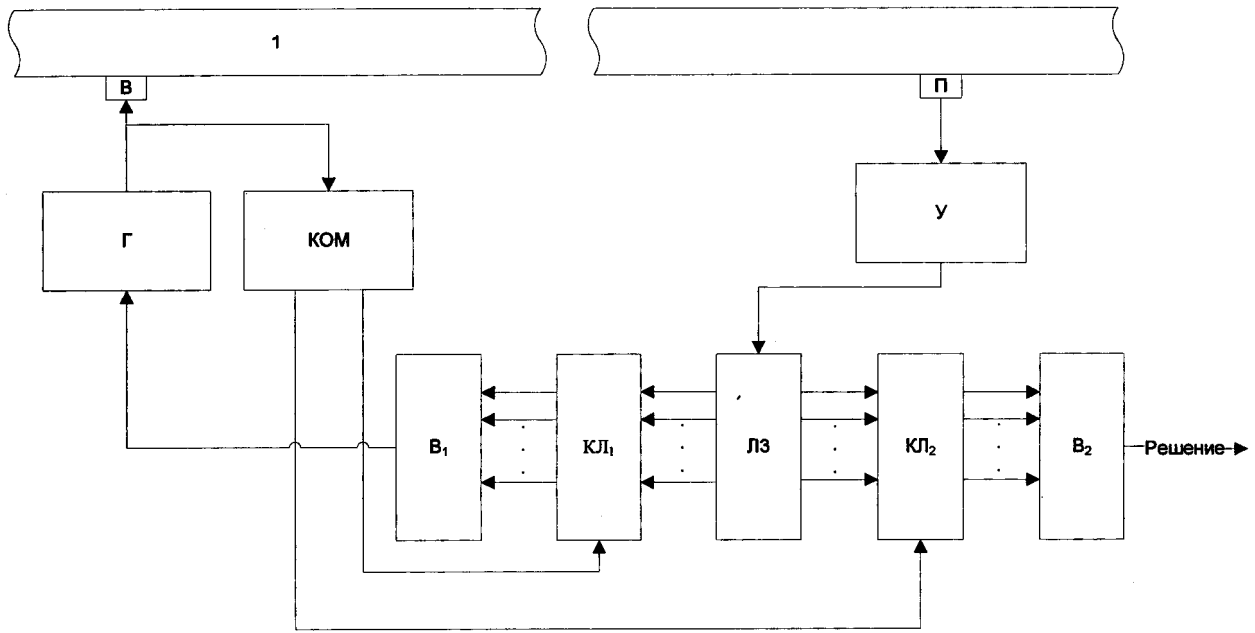
(56) Список документов, цитированных в отчете о поиске: RU 2439551C1, 10.01.2012. RU 2463590C1, 10.10.2012. RU 2445594C1, 20.03.2012. RU 2229708C2, 27.05.2004. JP 2000146921A, 26.05.2000. CN 204719003U, 21.10.2015.

(54) СПОСОБ ОБНАРУЖЕНИЯ И КЛАССИФИКАЦИИ ИЗМЕНЕНИЙ ПАРАМЕТРОВ ОБОЛОЧКИ ТРУБОПРОВОДА И ОКРУЖАЮЩЕЙ ЕГО СРЕДЫ

(57) Реферат:

Использование: для обнаружения изменений параметров заглубленного трубопровода и окружающей его среды. Сущность изобретения заключается в том, что в оболочке трубы возбуждают последовательность виброакустических импульсов через интервалы, превышающие интервал корреляции существующих в ней шумов, последовательность отсчетов регистрируемых реакций на каждое воздействие на другом конце контролируемого участка трубопровода суммируют с ранее полученными аналогичными отсчетами, модуль результирующего сигнала нормируют и принимают за плотность распределения временных интервалов отсчетов от начала до конца сформированного в сумматоре сигнала, по этому распределению вычисляют его оценки

математического ожидания, среднеквадратичного отклонения, асимметрии и эксцесса, по совокупности каждого из этих моментов определяют линии регрессии их средних и отклонений от них, сравнивают эти линии с вычисленными на предыдущем шаге и при достижении результатами сравнения установленных значений прогнозируют их поведение с ростом количества суммирования для обеспечения допустимых доверительных границ вычисляемых моментов, по достижению которых судят как о наличии, так и виде изменений в трубопроводной системе в текущий момент времени. Технический результат: повышение надежности обнаружения изменений параметров в трубопроводной системе и распознавание их вида. 1 з.п. ф-лы, 8 ил.



Фиг. 1

RU 2626583 C1

RU 2626583 C1



FEDERAL SERVICE
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(12) **ABSTRACT OF INVENTION**

(21)(22) Application: **2016135127, 29.08.2016**

(24) Effective date for property rights:
29.08.2016

Registration date:
28.07.2017

Priority:

(22) Date of filing: **29.08.2016**

(45) Date of publication: **28.07.2017** Bull. № 22

Mail address:

644080, g. Omsk, pr-kt Mira, 5, Federalnoe gosudarstvennoe byudzhethnoe obrazovatelnoe uchrezhdenie vysshego professionalnogo obrazovaniya "Sibirskaya gosudarstvennaya avtomobilno-dorozhnaya akademiya (SibADI)", patentno-informatsionnyj otdel

(72) Inventor(s):

**Nigrej Nadezhda Nikitichna (RU),
Epifantsev Boris Nikolaevich (umer),
Komarov Vladimir Aleksandrovich (RU),
Ishchak Ekaterina Romanovna (RU)**

(73) Proprietor(s):

Federalnoe gosudarstvennoe byudzhethnoe obrazovatelnoe uchrezhdenie vysshego obrazovaniya "Sibirskij gosudarstvennyj avtomobilno-dorozhnyj universitet (SibADI)" (RU)

(54) **METHOD FOR DETECTING AND CLASSIFYING CHANGES IN PARAMETERS OF PIPELINE JACKET AND ITS ENVIRONMENT**

(57) Abstract:

FIELD: measuring equipment.

SUBSTANCE: in a pipe jacket, a sequence of vibroacoustic pulses is excited at intervals exceeding the correlation interval of the noises existing in it, the sequence of counts of the recorded reactions for each action at the other end of the monitored pipeline section is summed up with previously obtained analogous counts, the resulting signal module is normalized and taken as the distribution density of count time intervals from the beginning to the end of the signal generated in the summing unit, according to this distribution, its estimations of expectation, mean square deviation, asymmetry and asymmetry are calculated, by the

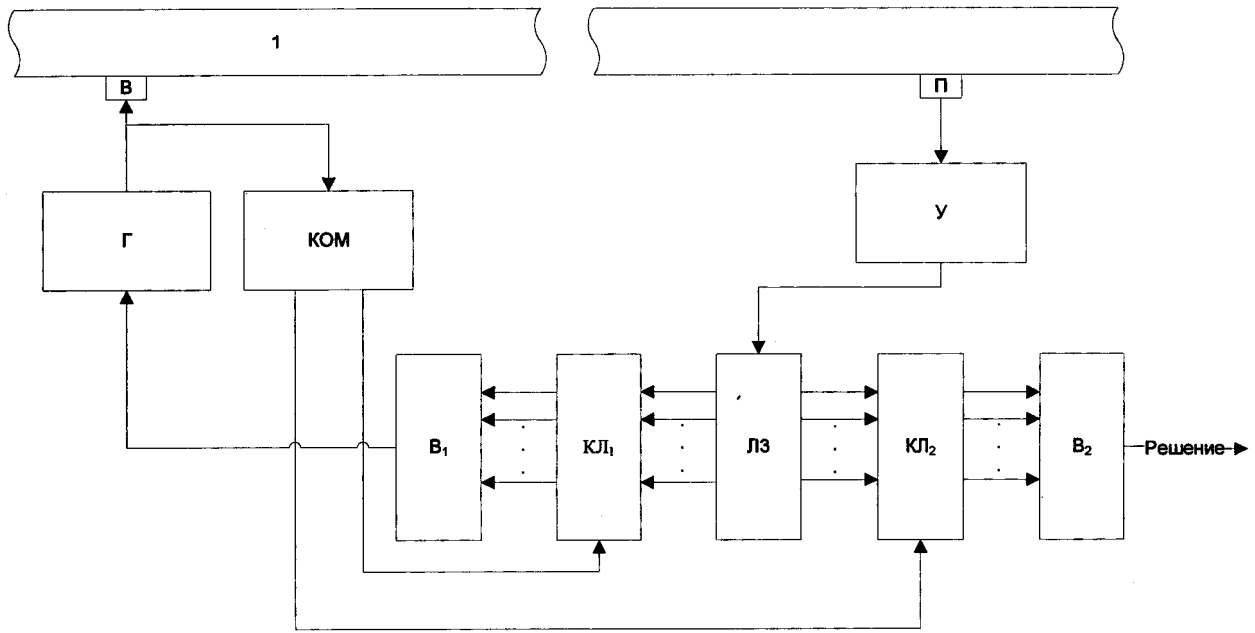
aggregate of each of these points, the regression lines of their averages and deviations from them are determined, these lines are compared with the lines calculated in the previous step and when the comparison results reach the set values, their behavior is predicted with increased in the summary amount to ensure permissible confidence limits of the calculated points, upon reaching which presence and type of changes in the pipeline system are estimated at the present moment.

EFFECT: increased reliability of detecting changes in parameters in the pipeline system and recognizing their type.

2 cl, 8 dwg

RU 2 626 583 C1

RU 2 626 583 C1



Фиг. 1

RU 2626583 C1

RU 2626583 C1

Изобретение относится к контролю безопасности эксплуатируемых трубопроводов и может быть использовано для предотвращения установки врезок в трубу, боеприпасов для ее подрыва, имитаторов несанкционированных работ в охранной зоне пролегания трубопровода для дезинформации службы безопасности, а также обнаружения утечек продукта, промерзания грунта в текущий период, просадок, выпучиваний, парафинирования трубы.

Известен способ обнаружения изменений состояний участка трубопровода по виброакустическим сигналам, формирующимся при несанкционированном взаимодействии субъекта с оболочкой трубы [Защита трубопроводов от несанкционированных врезок. / А.А. Казаков // Системы безопасности. - 2008. - №5. - С. 150-154]. Недостатком этого способа является малая номенклатура обнаруживаемых состояний (удар по трубе), запаздывание появления предупреждающего сигнала, исключаящее возможность предотвратить нарушение целостности трубы и сопутствующую в результате этого чрезвычайную ситуацию.

Известен способ обнаружения «аварийно-опасного» участка трубопровода, основанный на возбуждении ударных виброакустических импульсов в оболочке трубы с помощью приваренных к ней звукопроводящих стержней с последующим определением отношения резонансной частоты диагностируемого трубопровода к эталонной [Пат. 2350833 РФ, МПК F17D 5/00. Способ контроля и диагностики состояния трубопровода [Текст]. / Толстунов С.А., Мозер С.П., Толстунов А.С.]. В основу способа положено известное соотношение зависимости резонансной частоты пластины f_0 от ее толщины h : $f_0 = c/2h$, c - скорость распространения продольных волн в трубопроводе.

Использование этой закономерности для выявления земляных работ в охраняемой зоне не представляется возможным.

Известна заявка №2006137406/28 от 23.10.2006 (дата публикации заявки 27.04.2008) на способ и устройство дальнего обнаружения утечек в трубопроводе. Согласно заявке в перекачиваемом продукте создаются периодические волны давления, которые регистрируются на другом конце контролируемого участка. По искажению регистрируемой волны судят о наличии утечки на этом участке. Способ не позволяет фиксировать изменения, происходящие за пределами оболочки трубопровода.

Известен способ обнаружения утечек на трубопроводном транспорте углеводородов, основанный на регистрации и анализе инфразвуковых сигналов в перекачиваемом продукте [Пат. US 666861982. Pattern matching for real time leak detection and location in pipelines (Распознавание образов для детектирования в реальном времени факта и локализации врезок в трубопроводы)] и в различных вариантах исполнения описанный в http://acoustic-solution-intl.com/faq_index.htm; www.grouplb.com; <http://torinsk.ru/publication/25-mpp2007.html> и др. Недостаток способа - регистрируется факт нарушения целостности трубопровода, а не подготовительные работы по установке врезки или боеприпаса.

Известен способ изменений параметров среды в окружении заглубленного магистрального трубопровода [Пат. 2463590 РФ, МПК G01N 29/04. Способ обнаружения изменений параметров среды в окружении заглубленного магистрального трубопровода. / Елифанцев Б.Н., Федотов А.А.]. Согласно способу в оболочке трубы возбуждают виброакустические сигналы, регистрируют их на удалении от места возбуждения, проводят накопление зарегистрированных сигналов, соответствующих конкретному состоянию объекта контроля, и принимают результат накопления за соответствующий эталон, с которым сравнивают накопленные сигналы в периоды проведения контроля. Недостатком способа является неизвестное количество накоплений при проведении операций обучения и тестирования, оно зависит от изменения погодных условий, режима

перекачки продукта и др.

Из известных технических решений наиболее близким по совокупности существенных признаков к заявляемому является способ обнаружения дефектов в трубопроводах [Пат. 2439551 РФ, МПК G01N 29/04. Способ обнаружения дефектов в трубопроводах. / Алексеев С.П. и др.].

Согласно способу формируют акустические сигналы и регистрируют их после прохождения контролируемой среды, определяют плотность распределения зарегистрированных сигналов, вычисляют моменты полученных распределений, по величине которых судят о наличии изменений в контролируемой среде. Недостатком способа является выявление только одного изменения от нормативно установленного. Кроме того, способ работоспособен при высоком отношении сигнал/шум. В реальности это условие редко выполняется, и надежность обнаружения изменения в среде (наличие включения) оказывается недостаточной.

Целью изобретения является увеличение надежности обнаружения значимых изменений параметров оболочки трубопровода и окружающей его среды при увеличении номенклатуры классифицируемых изменений.

Указанная цель достигается тем, что виброакустические сигналы возбуждают в оболочке трубы следующими друг за другом воздействиями на ее поверхность через интервалы, превышающие интервал корреляции существующих в ней виброакустических шумов, последовательность отсчетов регистрируемых реакций на каждое воздействие на другом конце контролируемого участка трубопровода суммируют с ранее полученными аналогичными отсчетами, модуль результирующего сигнала нормируют и принимают за плотность распределения временных интервалов отсчетов от начала до конца сформированного в сумматоре сигнала, по этому распределению вычисляют его оценки математического ожидания, среднеквадратичного отклонения, асимметрии и эксцесса, а по совокупности каждого из этих моментов, полученных после очередного воздействия на трубопровод, определяют линии регрессии их средних и отклонений от них, сравнивают эти линии с вычисленными на предыдущем шаге и при достижении результатами сравнения ниже установленных значений прогнозируют их поведение с ростом количества суммирований для обеспечения допустимых доверительных границ вычисляемых моментов, по достижению которого принимают решение как о наличии, так и виде изменений в трубопроводной системе в текущий момент времени.

Кроме того, в промежутках между воздействиями на оболочку трубопровода регистрируют существующий в ней виброакустический шум, определяют его интервал корреляции, по которому устанавливают интервалы между возбуждениями виброакустических сигналов в оболочке трубы.

Сущность изобретения поясняется нижеследующим описанием и прилагаемыми к нему чертежами.

На фиг. 1 изображена структурная схема устройства, реализующего предлагаемый способ.

Фиг. 2 и 3 поясняют алгоритм формирования сигналов в сумматоре.

На фиг. 2а и 3а приведены реализации шума, полученные моделированием случайного процесса с экспоненциальной корреляционной функцией и интервалом корреляции 100 мс. На первую из них аддитивно положен сигнал в виде косинусоидального импульса, на вторую - в виде логнормальной функции. Отношение сигнал/шум в обоих случаях 0,5. Фиг. 2б и 3б отражают результаты 50-кратного суммирования разных реализаций вида, представленных на фиг. 2а и 3а. Аналогичные функции показаны фиг. 2в и 3в, полученные при 100 суммированиях таких реализаций.

На фиг. 4 проиллюстрированы изменения значений момента плотности распределения вида, показанного на фиг. 3, и его доверительных границ от количества суммирований (воздействий на объект контроля).

Обозначения на чертежах: 1 - изображение трубопровода; В - элемент возбуждения
 5 виброакустических сигналов в оболочке трубы; Г - генератор сигналов, П - приемник виброакустических сигналов, У - усилитель, ЛЗ - линия задержки, КЛ₁ и КЛ₂ - электронные ключи, В₁ и В₂ - вычислители, КОМ - коммутатор, N - число суммирований, ОСШ - отношение сигнал/шум, u(t) - нормированная амплитуда сигнала на интервале
 10 t-t_k+τ_c, τ_c - длительность возбуждения поверхности оболочки трубы, $\bar{\tau}$ - средняя длительность формирующихся на выходе приемника сигналов, Л₂ - линия регрессии момента распределения, Л₁ и Л₃ - изменения доверительных границ вычисляемого момента в зависимости от количества суммирований, N_y - количество суммирований, при котором вычисляемые линии регрессии Л₁-Л₃ на предыдущем шаге N=N_y-1
 15 отличались от полученных на заранее установленную величину, Д₁-Д₂ - доверительные интервалы, допускаемые при оценке соответствующего момента распределения, штриховые кривые - прогноз доверительных границ с увеличением N.

При воздействии элементом В на оболочку трубопровода в ней формируется
 20 виброакустический импульс, распространяющийся в направлении приемника П. В зависимости от соотношений волновых сопротивлений соприкасающихся систем «оболочка - перекачиваемый продукт», «оболочка - внешняя среда» часть энергии импульса переходит в указанные среды, причем доли покинувших оболочку виброакустических колебаний зависят от частоты их колебаний [Буденков С.А. и др.
 25 Оценка возможностей метода акустической эмиссии при контроле магистральных трубопроводов // Дефектоскопия, 2000, №2, С. 29-36]. В силу указанных причин форма импульса, сформированная в месте взаимодействия элемента В с поверхностью трубы, по мере распространения изменяется в зависимости от амплитудно-частотной
 30 характеристики канала распространения колебаний. Парафинирование внутренней стенки трубы изменяет соотношение волновых сопротивлений «оболочка трубы - перекачиваемый продукт», наблюдается не только изменение энергии импульса, но и его формы из-за зависимости волновых сопротивлений от частоты колебаний [Неразрушающий контроль: Справочник: В 8 т. / Под общ. ред. В.В. Клюева. Т. 3. И.Н. Ермолов, Ю.В. Ланге. Ультразвуковой контроль. - М.: Машиностроение, 2006. - 864
 35 с.].

В оболочке трубопровода формируются случайные флуктуации механических (виброакустических) колебаний, порождаемые следующими причинами [Епифанцев Б.Н и др. Трубопроводный транспорт: нейтрализация новых угроз безопасности. - Омск: СибАДИ, 2006. - 295 с.]:

- 40 - турбулентным характером движения перекачиваемого продукта;
- ветровым фактором, формирующим через растительность сейсмические колебания в канале передачи «прозванивающих» виброакустических импульсов;
- проезжающим вблизи «охранной зоны» транспортом и т.д.

Регистрируемый приемником П сигнал оказывается соизмеримым или меньшим
 45 сренеквадратического отклонения сопутствующих шумов. В связи с этим для обнаружения поступающих сигналов требуется вводить операцию по увеличению отношения сигнал/шум. В качестве такой операции предлагается использовать накопление сигналов. Исследуемая задача допускает такую возможность - решение

принимается по совокупности откликов на N «прозванивающих» виброакустических импульсов.

Сформированный генератором Γ электрический импульс преобразуется элементом возбуждения B в виброакустический, который «прозванивает» канал его распространения. Достигнув приемника Π , он вновь преобразуется в электрический сигнал, поступающий через усилитель на линию задержки ЛЗ. По окончании сигнала генератора Γ коммутатор КОМ открывает ключи КЛ₂, сформировавшийся за время работы генератора отклик на выходе приемника Π переносится в вычислитель B_2 . После окончания импульса генератора Γ на линию задержки ЛЗ поступает шумовой процесс, распределение интенсивности которого на интервале между «прозваниваниями» переносится коммутатором КОМ в вычислитель B_1 перед появлением нового импульса генератора Γ .

В вычислителе B_2 каждая поступающая реализация отклика из линии задержки ЛЗ суммируется с ранее записанными. В первой из них $N=1$ в основном просматривается шум, полезный сигнал не выделяется (фиг. 2а, 3а). После многих суммирований (процесс накопления) сигнал проявляется все отчетливее. Согласно принципу накопления приращение интенсивности сигнала пропорционально числу накоплений N , а шумов - \sqrt{N} . Этот эффект справедлив, когда реализации шумов не коррелированы. Для обеспечения этого условия в вычислителе B_1 определяется интервал корреляции текущих шумов τ_k и по нему устанавливается требуемая длительность импульса τ_c . Наилучший случай - равенство $\tau_c = \tau_k$. Система обнаружения оказывается адаптированной к изменениям шумовой обстановки в зоне контролируемого объекта.

По мере увеличения числа суммирований начинает выявляться форма принимаемого сигнала (фиг. 2, 3), по которой можно судить о характере изменения в канале распространения «прозванивающего» сигнала [Елифанцев Б.Н. и др. К оценке чувствительности виброакустической системы обнаружения локальных возмущений параметров среды в окружении магистрального трубопровода // Дефектоскопия. - 2015. - №2. - С. 17-26].

Описание этой формы возможно моментами формирующейся кривой. Такими моментами могут служить среднее, среднеквадратическое отклонение, асимметрия, эксцесс. Выполнение этой операции требует знания плотности распределения вероятностей. Если в качестве параметра распределения принять длительности от начала работы генератора в момент $t - \tau_k$ до очередного отсчета сигнала (количество отсчетов определяется выбранным количеством ключей КЛ₂), то амплитуды отсчетов очередной суммы можно принять за значения вероятностей. Для этого необходимо использовать модуль сигнала $u(t)$ (вероятности не могут быть отрицательными, данный эффект наблюдается в начале работы вычислителя (при $N=1$)). Второе условие сводится к выполнению нормировки значений отсчетов (их сумма должна равняться единице).

Наконец, следует решить вопрос, когда завершается процесс суммирования откликов канала прокладки трубопровода на «прозванивающие» сигналы. Фиг. 4 поясняет алгоритм нахождения ответа на этот вопрос.

Если N мало, разброс вычисляемых моментов по изложенной схеме значителен. С ростом N оценки моментов группируются около среднего (дисперсия оценок пропорциональна корню из $1/N$). После каждого суммирования определяются линии регрессии оцениваемых параметров и отклонений от них (Л₁-Л₃). Если при очередном вычислении этих линий их отличие от предыдущих не превысит заданную величину, их

поведение прогнозируется при увеличении N (штриховые линии на фиг. 4). Определяется далее, при каком значении N найденная оценка попадет в заданный доверительный интервал (D_1 - D_2 на фиг. 4). Реализацией этого количества «прозванивающих импульсов» завершается цикл очередного испытания трубопроводной системы на наличие произошедших изменений.

Перечень интересующих изменений реализуется на действующих в настоящее время полигонах. По каждому моделируемому изменению оценивается форма отклика при разных N и положение моментов формы с доверительными интервалами.

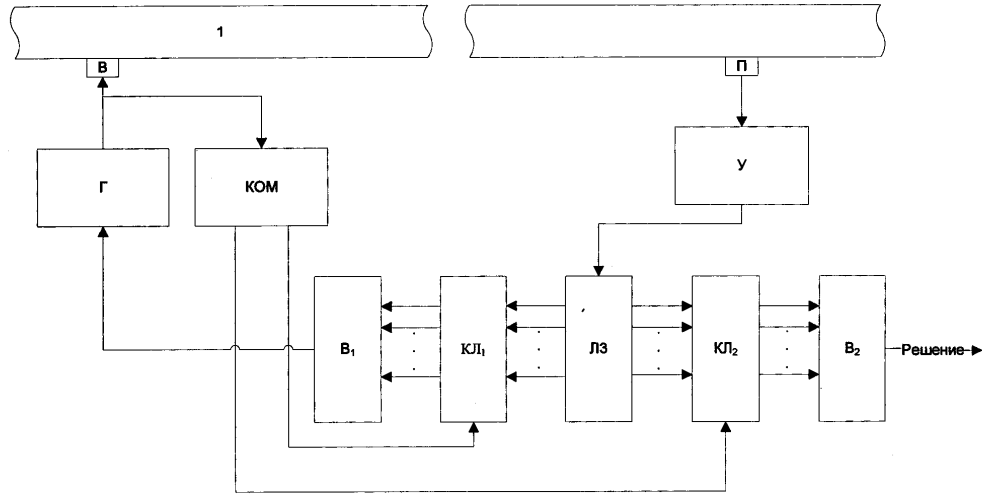
(57) Формула изобретения

1. Способ обнаружения и классификации изменений в оболочке трубопровода и окружающей его среде, основанный на возбуждении и регистрации виброакустических сигналов, формировании плотности распределения вероятностей регистрируемых сигналов и вычислении его моментов, вынесении решения по их значениям о появлении изменений в объекте контроля, отличающийся тем, что виброакустические сигналы возбуждают в оболочке трубы следующими друг за другом воздействиями на ее поверхность через интервалы, превышающие интервал корреляции существующих в ней виброакустических шумов, последовательность отсчетов регистрируемых реакций на каждое воздействие на другом конце контролируемого участка трубопровода суммируют с ранее полученными аналогичными отсчетами, модуль результирующего сигнала нормируют и принимают за плотность распределения временных интервалов отсчетов от начала до конца сформированного в сумматоре сигнала, по этому распределению вычисляют его оценки математического ожидания, среднеквадратичного отклонения, асимметрии и эксцесса, по совокупности каждого из этих моментов определяют линии регрессии их средних и отклонений от них, сравнивают эти линии с вычисленными на предыдущем шаге и при достижении результатами сравнения установленных значений прогнозируют их поведение с ростом числа суммирований для обеспечения допустимых доверительных границ вычисляемых моментов, по достижению которых судят как о наличии, так и виде изменений в трубопроводной системе в текущий момент времени.

2. Способ по п. 1, отличающийся тем, что в промежутках между воздействиями на оболочку трубопровода регистрируют существующий в ней виброакустический шум, определяют его интервал корреляции, по которому устанавливают интервалы между возбуждениями виброакустических сигналов в оболочке трубы.

1

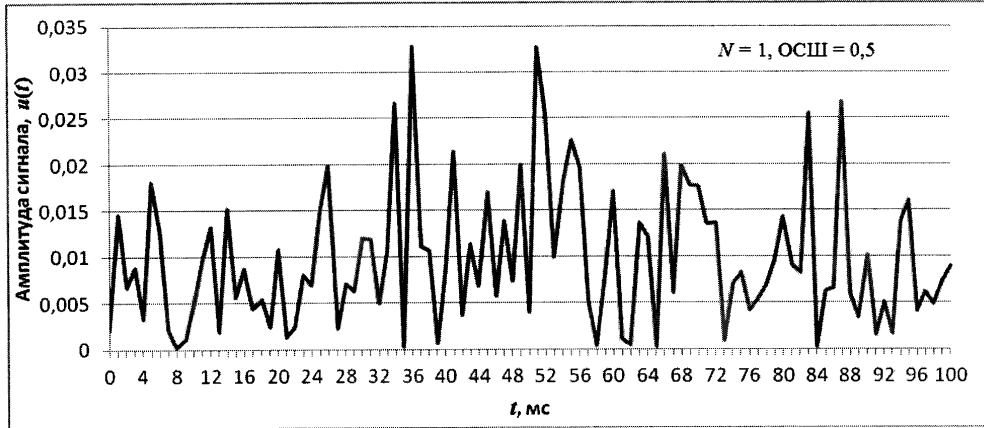
Способ обнаружения и классификации изменений параметров оболочки
трубопровода и окружающей его среды



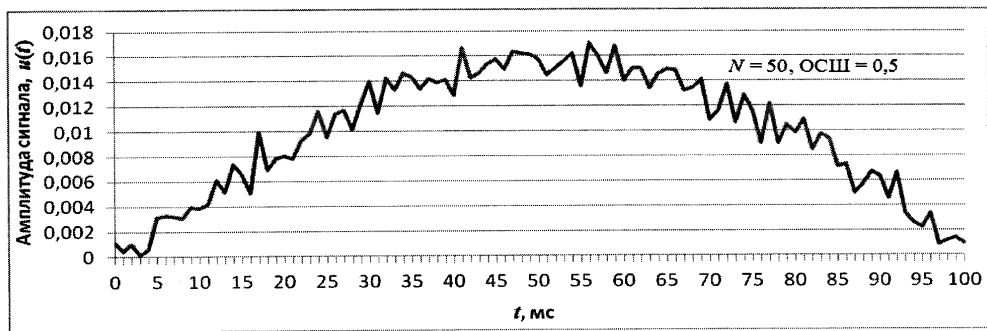
Фиг. 1

2

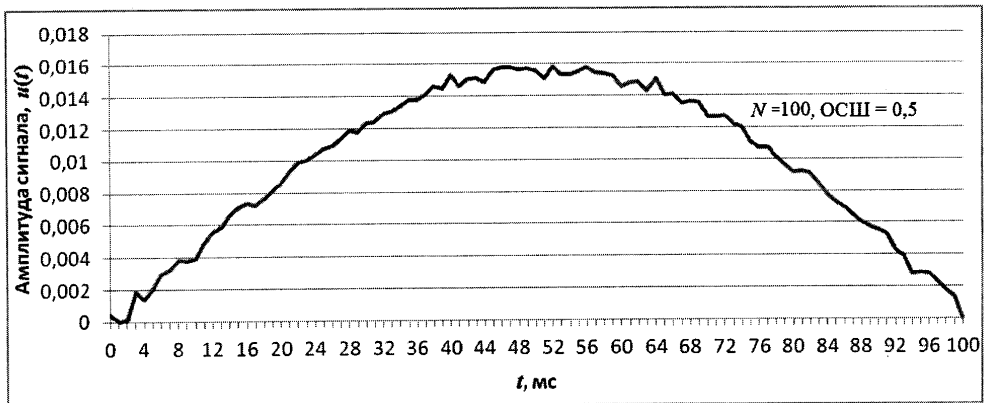
Способ обнаружения и классификации изменений параметров оболочки
трубопровода и окружающей его среды



Фиг. 2 а

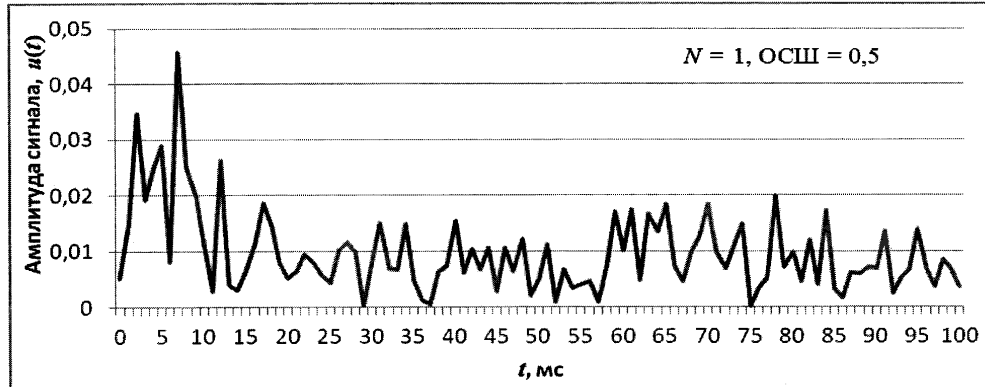


Фиг. 2 б

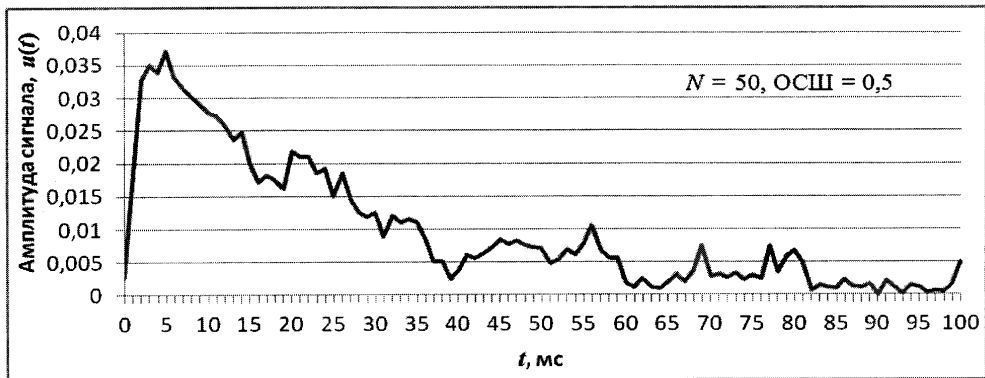


Фиг. 2 в

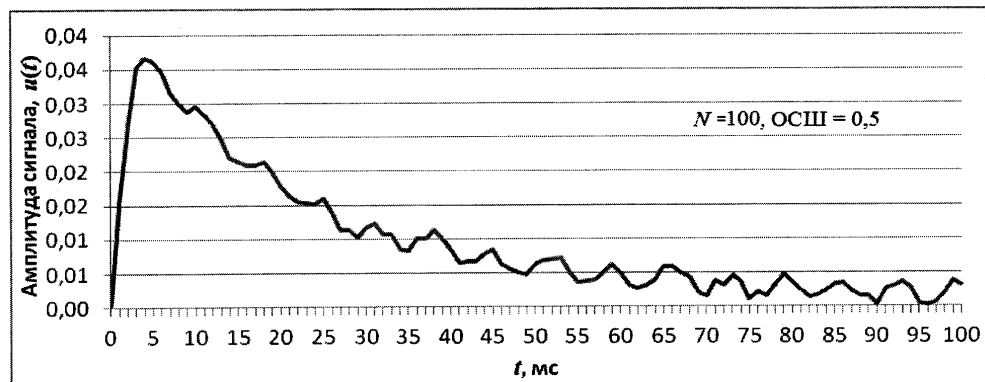
Способ обнаружения и классификации изменений параметров оболочки
трубопровода и окружающей его среды



Фиг. 3 а

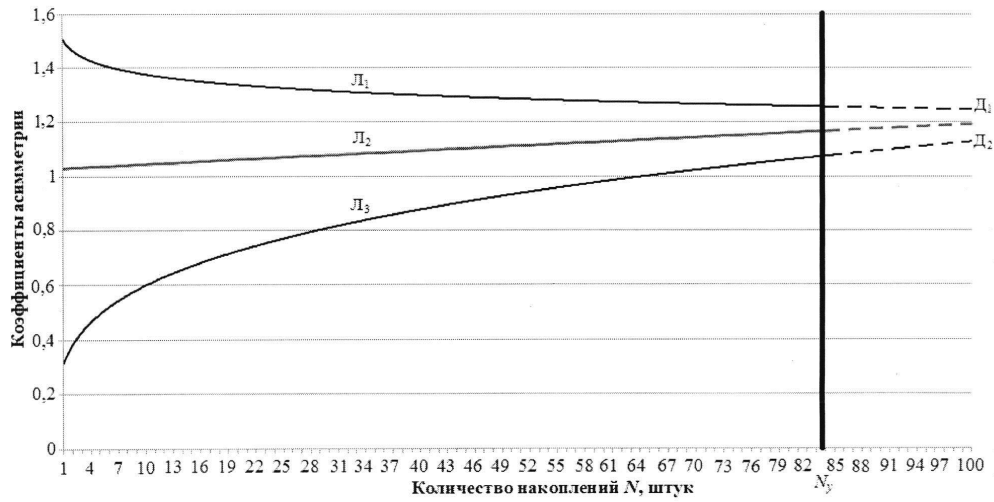


Фиг. 3 б



Фиг. 3 в

Способ обнаружения и классификации изменений параметров оболочки
трубопровода и окружающей его среды



Фиг. 4