



**ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА  
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ**

**(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ**

(21)(22) Заявка: 2011121858/28, 30.05.2011

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:  
30.05.2011

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 30.05.2011

(45) Опубликовано: 10.10.2012 Бюл. № 28

(56) Список документов, цитированных в отчете о  
поиске: RU 2271446 C1, 10.03.2006. RU 2089896 C1,  
10.09.1997. US 5416724 A, 16.05.1995. RU  
2350833 C1, 27.03.2009. RU 2193771 C2,  
27.11.2002. WO 02070946 A2, 12.09.2002.

Адрес для переписки:

644080, г.Омск, пр-кт Мира, 5, ГОУ ВПО  
"Сибирская государственная автомобильно-  
дорожная академия", патентно-  
информационный отдел

(72) Автор(ы):

**Епифанцев Борис Николаевич (RU),  
Федотов Александр Анатольевич (RU)**

(73) Патентообладатель(и):

**Государственное образовательное  
учреждение высшего профессионального  
образования "Сибирская государственная  
автомобильно-дорожная академия" (RU)****(54) СПОСОБ ОБНАРУЖЕНИЯ ИЗМЕНЕНИЙ ПАРАМЕТРОВ СРЕДЫ В ОКРУЖЕНИИ  
ЗАГЛУБЛЕННОГО МАГИСТРАЛЬНОГО ПРОДУКТОПРОВОДА**

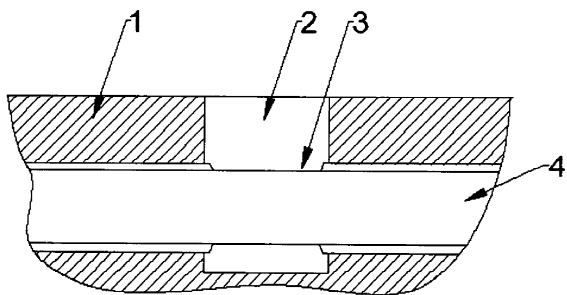
(57) Реферат:

Использование: для обнаружения изменений параметров среды в окружении заглубленного магистрального продуктопровода. Сущность заключается в том, что возбуждают периодическую последовательность прозванивающих импульсов на одном конце трубопровода, регистрируют их на другом конце и принимают решение по результатам анализа регистрируемых импульсов, при этом прозванивающие импульсы возбуждают в оболочке контролируемого трубопровода, а каждый из принимаемых импульсов совмещают с предыдущим, полученный таким образом текущий суммарный импульс после регистрации очередного импульса коррелируется с эталонными, полученными

ранее аналогичным способом на этом же участке трубопровода с имитированными состояниями, признанными опасными, и при превышении максимального коэффициента корреляции из числа полученных установленного уровня принимают решение о наличии интересующего изменения параметров на трассе пролегания трубопровода и в виде этого изменения, после чего процесс мониторинга объекта контроля продолжают, а принятое решение по существующим каналам связи передают в службу безопасности. Технический результат: повышение надежности обнаружения изменений параметров окружающей заглубленный трубопровод среды и распознавания их вида. 9 ил.

RU 2 4 6 3 5 9 0 C 1

RU 2 4 6 3 5 9 0 C 1



Фиг. 2

RU 2463590 C1

RU 2463590 C1



FEDERAL SERVICE  
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(12) **ABSTRACT OF INVENTION**

(21)(22) Application: 2011121858/28, 30.05.2011

(24) Effective date for property rights:  
30.05.2011

Priority:

(22) Date of filing: 30.05.2011

(45) Date of publication: 10.10.2012 Bull. 28

Mail address:

644080, g.Omsk, pr-kt Mira, 5, GOU VPO  
"Sibirskaja gosudarstvennaja avtomobil'no-  
dorozhnaja akademija", patentno-informatsionnyj  
otdel

(72) Inventor(s):

**Epifantsev Boris Nikolaevich (RU),  
Fedotov Aleksandr Anatol'evich (RU)**

(73) Proprietor(s):

**Gosudarstvennoe obrazovatel'noe uchrezhdenie  
vysshego professional'nogo obrazovanija  
"Sibirskaja gosudarstvennaja avtomobil'no-  
dorozhnaja akademija" (RU)**

(54) **METHOD OF DETECTING CHANGES IN PARAMETERS OF MEDIUM SURROUNDING BURIED MAIN PRODUCT PIPELINE**

(57) Abstract:

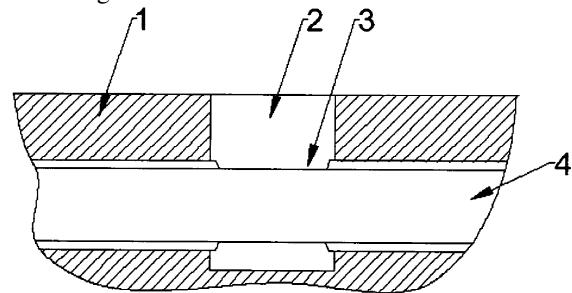
FIELD: physics.

SUBSTANCE: series of ring out pulses is generated at one of the pipeline and picked up at the other end, and a decision is made based on results of analysing the picked up pulses, wherein the ring out pulses are generated in the cladding of the inspected pipeline, and each of the received pulses is combined with the previous; the resultant pulse, after picking up the next pulse, is correlated with reference pulses obtained earlier using a similar method on the same area of the pipeline with simulated states considered dangerous, and if the maximum correlation coefficient from the obtained exceeds a set level, a decision is made on the presence of the parameter change of interest on the route of the pipeline and the type of that change, after which the

process of monitoring the control object continues, and the decision taken is transmitted to the security service over corresponding communication channels.

EFFECT: high reliability of detecting changes in parameters of medium surrounding a buried pipeline and identification of the type of said changes.

9 dwg



Фиг. 2

RU 2 4 6 3 5 9 0 C 1

RU 2 4 6 3 5 9 0 C 1

Изобретение относится к контролю безопасности эксплуатируемых магистральных трубопроводов для предотвращения установки врезок в трубу, боеприпасов для ее подрыва, имитаторов утечек перекачиваемого продукта для дезинформации службы безопасности, а также для обнаружения утечек продукта, уровня промерзания грунта в текущий период, просадок или выпучиваний трубопровода.

Известен способ обнаружения изменения состояния участка трубопровода по виброакустическим сигналам, формирующимся при взаимодействии нарушителя с оболочкой трубы при установке конструкции для несанкционированного отбора перекачиваемого продукта [Защита трубопроводов от несанкционированных врезок. / А.А.Казаков. // Системы безопасности. - 2008. - №5. - С.150-154]. Недостатком этого способа является малая номенклатура обнаруживаемых состояний (характеризуются кратковременным ударом по трубе), большое число виброакустических датчиков, устанавливаемых на трубопровод для обеспечения приемлемой надежности обнаружения (от 2-х до 10 на 1 км; см. <http://archive.ipgg.nsc.ru/Conferences/DocLib/Заседание%20Секции%202020Пятой%20международной%20специализированной%20выставки%20и%20научного%20конгресса%20ГЕО-СИБИРЬ-2009/akimova.pdf>).

Способ применим только для выделения сигналов взаимодействия инструмента нарушителя с оболочкой трубы и не позволяет обнаруживать другие состояния, опасные для эксплуатации трубопровода.

Известна заявка №2006137406/28 от 23.10.2006 (дата публикации 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. Недостатком способа является малочисленная номенклатура обнаруживаемых состояний (утечки), снижение амплитуды пульсаций волны при утечке сопоставимо с шумами от перемещения перекачиваемого продукта (малая чувствительность к утечкам), в турбулентной (перекачиваемой) среде структура возбуждаемой упругой волны при распространении быстро разрушается (малая дальность обнаружения, искажение помехами), наличие поперечного градиента скорости вызывает непредсказуемое искажение волнового фронта и связанное с ним появление радиальных колебаний [Лепендин Л.Ф. Акустика. / Л.Ф.Лепендин. - М.: Высш. шк., 1978. - 448 с.], что затрудняет создание стабильного эталона «утечки».

Из известных технических решений наиболее близким по совокупности существенных признаков к заявляемому является способ мониторинга виброакустических характеристик протяженного объекта [Пат. 2271446 Российская Федерация, МПК E21B 47/00, G01N 9/00. Устройство для мониторинга виброакустической характеристики протяженного объекта [Текст]. / Горшков Б.Г., Заирный М.В., Кулаков А.Т.].

Данный способ заключается в том, что вдоль трубопровода прокладывают волоконно-оптический кабель, на одном конце которого в него вводят импульсное излучение, регистрируемое на его другом конце. При изменении виброакустических характеристик объекта (прорыв трубы, ее просадка и др.) регистрируемый сигнал изменяется (из-за деформации оптоволокна) и по этому изменению судят о локальных или протяженных изменениях виброакустических характеристик системы «жидкость - оболочка трубы - изоляция - окружающая среда» на трассе магистрального трубопровода. Недостатком способа является невысокая помехоустойчивость, обусловленная присутствием источников сопутствующих сейсмических сигналов на

5 трассе пролегания трубопровода (корни деревьев при наличии ветра, движение техники в прилегающей местности и др.). Способом не предусмотрена защита от искусственных помех (просто создаются) для дезорганизации работы службы безопасности трубопроводной системы. Решение проблемы классификации источников деформаций оптического волокна не просматривается.

Целью изобретения является повышение надежности обнаружения изменений параметров окружающей заглобленный трубопровод среды и распознавания их вида.

10 Указанная цель достигается тем, что на одном конце контролируемого участка трубопровода в его оболочке создают периодическую последовательность виброакустических импульсов, на другом конце совмещают каждый принимаемый импульс с предыдущими, суммируют совмещенные импульсы, определяют степень сходства (корреляцию) текущего суммарного импульса с эталонными, полученными ранее аналогичным способом на этом же участке трубы с имитированными состояниями, признанными опасными, и при превышении установленного уровня сходства (коэффициента корреляции) с одним из найденных принимают решение о наличии интересующего изменения окружающей среды и его виде, после чего процесс мониторинга объекта контроля продолжают, а принятое решение по существующим 15 каналам связи передают в службу безопасности.

Сущность изобретения поясняется нижеследующим описанием и прилагаемыми к нему чертежами. На фиг.1-3 изображены локальные изменения состояния участков трубопровода, на фиг.4 - структурная схема обработки принимаемых после прохождения по участку трубопровода «прозванивающих» сигналов.

25 На фиг.5 приведена фотография не заглобленного трубопровода, на котором проводились эксперименты по обнаружению установленных на него аккумулятора и гири.

30 На фиг.6 представлено фотоизображение используемой в экспериментах аппаратуры.

На фиг.7 показано изображение исходных виброакустических импульсов, возбуждаемых в оболочке трубы генератором и зарегистрированных на расстоянии 100 м от точки возбуждения (фиг.8).

35 На фиг.9 изображены доверительные границы коэффициентов корреляции эталонных импульсов «норма», «врезка», «подкоп» с регистрируемыми в соответствующем состоянии трубопровода после их накопления в количестве, указанном на оси абсцисс.

40 Среди возможных состояний трассы пролегания трубопровода основным является «нормальное» - отсутствие нарушений после сдачи в эксплуатацию. Внешние угрозы нормальной работе трубопровода проявляются в случае появления шурфа 2 (фиг.1-3), ликвидации изоляции 3 с оболочки трубы в области выкопанного шурфа (фиг.2), наличия в зоне шурфа на трубе приспособления создания врезки (фиг.3), наличия врезки. Кроме того, следует иметь эталоны интегральных изменений на 45 контролируемой трассе: «всплывание» трубы, влагонасыщенное состояние грунта, замерзание почво-грунтов и др.

50 Для обнаружения перечисленных состояний в оболочку трубы на одном ее конце вводится периодическая последовательность виброакустических импульсов с помощью генератора 6. Эта операция не имеет особенностей с технической точки зрения, с вариантами ее реализации можно познакомиться в [Неразрушающий контроль: Справочник: В 8 т. / Под общ. ред. В.В.Клюева Т.З. И.Н.Ермолов, Ю.В.Ланге. Ультразвуковой контроль. - М.: Машиностроение, 2006. - 864 с.].

Распространение гармонической волны в оболочке трубы описывается выражением:

$$U(r) = \left( \frac{A_0}{\sqrt{r}} \right) e^{-\delta - ik} e^{i\omega t}$$

5 где  $U(r)$  - амплитуда волны,  $A_0$  - коэффициент,  $t$  - расстояние от генератора,  $e$  - экспонента,  $\delta$  - коэффициент затухания,  $k$  - волновое число,  $\omega$  - циклическая частота.

При  $\left( \frac{h}{D} \right) < 0,1$ , где  $h$  - толщина стенки трубы,  $D$  - ее диаметр, наибольшую

10 амплитуду смещений и существующие во всем диапазоне частот имеют волны Лэмба нулевых порядков  $a_0$  и  $s_0$  [Буденков Г.А. и др. Оценка возможностей метода акустической эмиссии при контроле магистральных трубопроводов. // Дефектоскопия, 2000, №2, С.29-36]. При распространении этих волн по заглубленному газопроводу из-за значительного различия волновых сопротивлений металла и газа переизлучение акустической энергии в перекачиваемый продукт ничтожно (при  
15 нормальном падении продольной волны на границу «сталь-воздух» (воздух-сталь) проходит только 0,002% энергии), но заметная доля распространяющегося импульса акустической энергии уходит в окружающую среду. За счет утечки энергии в  
20 перекачиваемый продукт в нефтепродуктопроводах затухание распространяющихся акустических сигналов в их оболочке будет больше, нежели в газопроводах (через границу «вода-сталь» проходит 12% энергии). Следовательно, предельное расстояние распространения импульсов энергии будет зависеть от состояния грунта и изоляции и  
25 типа трубопровода.

Изменения параметров среды в почво-грунтах 1 вида 2, 5 на фиг.1 и фиг.3 приводят к формированию локальных градиентов переизлучения акустической энергии в оболочке трубы. Возможно ли с помощью существующих средств обнаружить такие градиенты на приемлемых по дальности расстояниях разнесения «генератор-  
30 приемник» и распознать их тип? Другими словами, могут ли указанные отступления от принятой нормы изменить переходную характеристику контролируемого участка трубопровода настолько, чтобы выделить в регистрируемых сигналах не только информацию «есть угроза», но и распознать ее тип.

35 Положительный ответ на этот вопрос просматривается в случае нахождения подхода к реализации известного в теории обнаружения принципа накопления сигналов, позволяющего выделить полезную информацию в принимаемых сообщениях при ничтожных отношениях сигнал/шум.

Затраты времени, на создание угроз, изображенных на фиг.1 и фиг.3, составляют  
40 более часа. При работе генератора импульсов с частотой 50 импульсов/сек (50 Гц) сформируется более 180000 «прозванивающих» импульсов. Для некоррелированных отсчетов шумов в области формирования импульсов справедлив закон увеличения отношения сигнал/шум в  $\sqrt{n}$ , где  $n$  - число прозванивающих импульсов, или в 425 раз. Т.е. изменение состояния трассы в 0,01% может быть обнаружено.

45 Устройство, реализующее способ, работает следующим образом. Регистрируемые приемником 7 импульсы поступают на схему накопления, представленную в виде линии задержки 8 и сумматора 9. Расстояния между отводами линии задержки соответствуют периоду генерируемых импульсов. Результат накопления в текущий момент времени поступает на коррелятор 11 для расчета коэффициентов корреляции накопленного импульса с эталонными, хранящимися в памяти 10. Схема выделения экстремума 12 выделяет максимальный коэффициент корреляции при превышении  
50 некоторого порога  $\eta$ , схема 13 формирует импульс для считывания номера эталона,

определяющего максимум этого коэффициента. Считанный номер по каналам связи передается в службу безопасности трубопроводной системы.

Эталонные импульсы представляют собой сумму пачки принимаемых импульсов при известном (сымитированном) состоянии трубопровода, которое необходимо  
5 распознавать в процессе мониторинга трубопроводной системы. Число суммируемых импульсов может быть установлено по дисперсии нормированных суммарных импульсов. При ее приближении к нулю процесс построения эталона прекращается.

Достоверность выводов и возможности обнаружения и распознавания изменений  
10 параметров среды в окружении магистрального трубопровода подтверждается результатами экспериментов. Эксперименты проводились как с незаглубленными трубопроводами, так и с заглубленными. Состав аппаратного комплекса: генератор ударного типа с энергией удара 0,32 Дж (при энергии 320 Дж появляются признаки пластической деформации), пьезоэлектрический приемник виброакустических  
15 колебаний, переносной компьютер (фиг.6).

О характере возбуждаемых в оболочке виброакустических импульсов дает представление фиг.7, изменение формы импульсов после прохождения ими  
расстояния 100 м по оболочке трубопровода иллюстрирует фиг.8. Результаты  
20 экспериментов приведены на фиг.9. Они получены следующим образом.

Формировалось одно из состояний, обозначенных на фиг.5. Генератор и датчик устанавливались на оболочку трубопровода на расстоянии 500 м. Строился эталон по 82-м регистрируемым импульсам путем их суммирования и усреднения (деления  
25 отсчетов амплитуд на 82). На следующем этапе формировались пачки по 82 регистрируемых импульса (реализации случайных потоков). По импульсам каждой пачки создавались усредненные импульсы из 2-х, 3-х и т.д. до 82 импульсов, которые коррелировались с эталонными. Для каждого числа накопленных импульсов находился коэффициент корреляции. Задавалась доверительная вероятность 0,99  
30 попадания коэффициентов корреляции в доверительные интервалы, границы которых для разных сочетаний приведены на фиг.9. Результаты не требуют комментариев.

Затухание сигнала по трубопроводу происходит по экспоненциальному закону. Чтобы получить аналогичные результаты для расстояния 1 км потребуются  
накопление нескольких сотен импульсов. Приведенное выше число генерируемых  
35 импульсов достаточно для решения поставленных задач и на расстояниях несколько километров.

#### Формула изобретения

Способ обнаружения изменений параметров среды в окружении заглубленного  
40 магистрального трубопровода, основанный на возбуждении периодической последовательности прозванивающих импульсов на одном конце трубопровода, регистрации их на другом конце и принятии решения по результатам анализа регистрируемых импульсов, отличающийся тем, что прозванивающие импульсы  
45 возбуждают в оболочке контролируемого трубопровода, а каждый из принимаемых импульсов совмещают с предыдущим, полученный таким образом текущий суммарный импульс после регистрации очередного импульса коррелируется с эталонными, полученными ранее аналогичным способом на этом же участке  
50 трубопровода с имитированными состояниями, признанными опасными, и при превышении максимальным коэффициентом корреляции из числа полученных установленного уровня принимают решение о наличии интересующего изменения параметров на трассе пролегания трубопровода и в виде этого изменения, после чего

процесс мониторинга объекта контроля продолжают, а принятое решение по существующим каналам связи передают в службу безопасности.

5

10

15

20

25

30

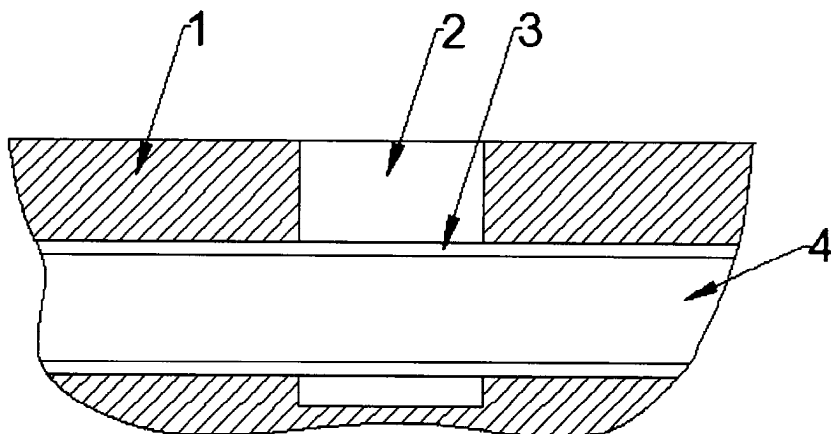
35

40

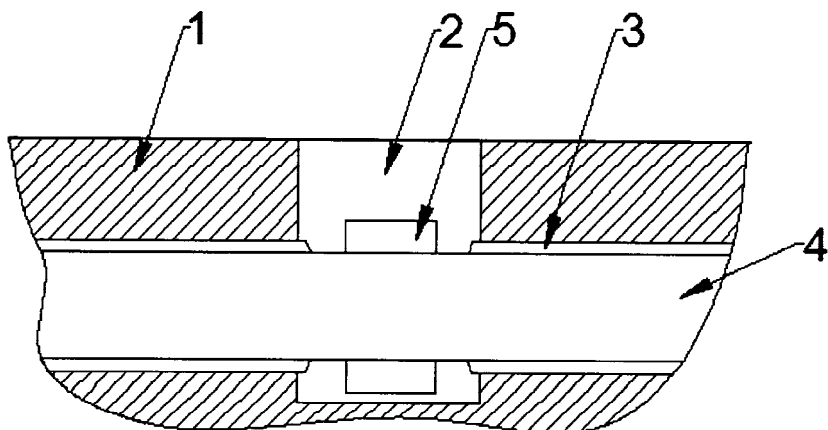
45

50

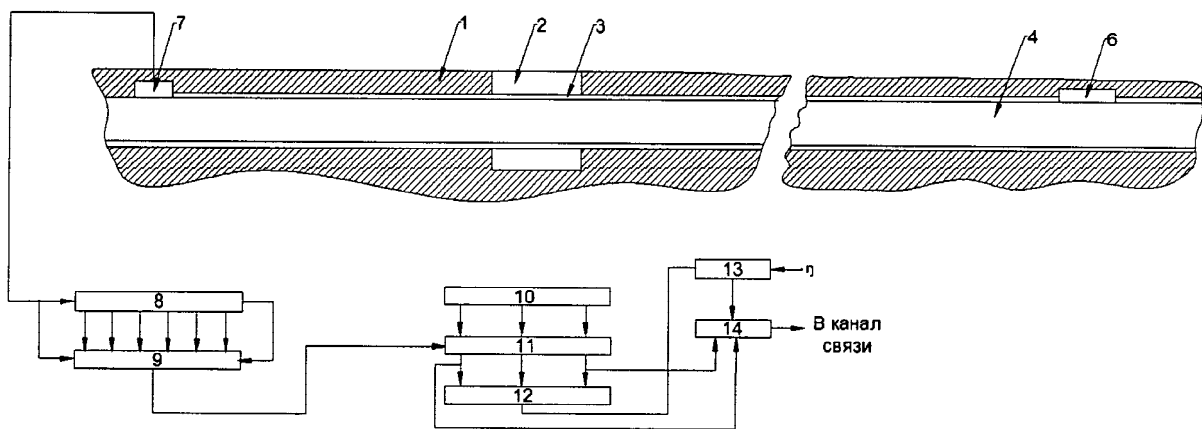




Фиг. 1



Фиг. 3



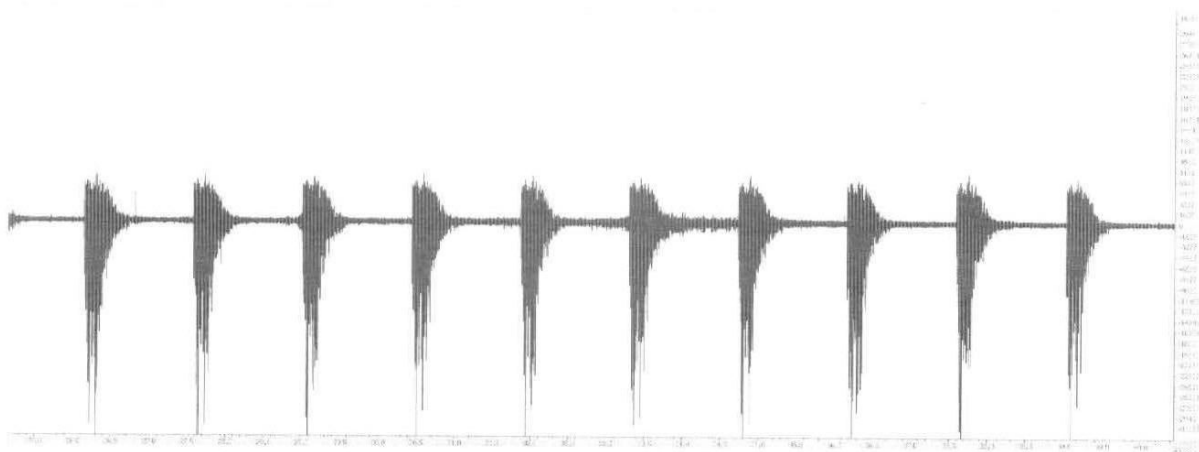
Фиг. 4



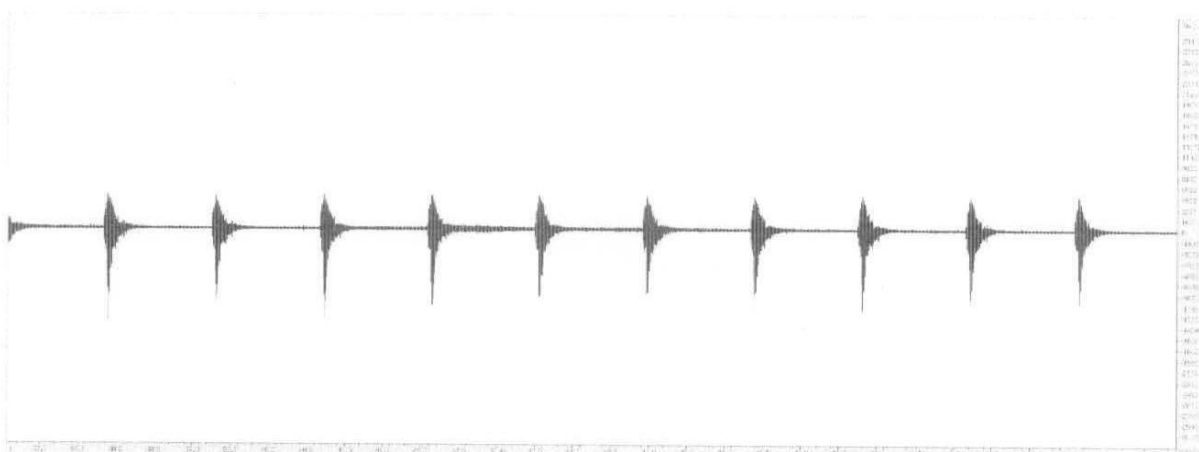
Фиг. 5



Фиг. 6

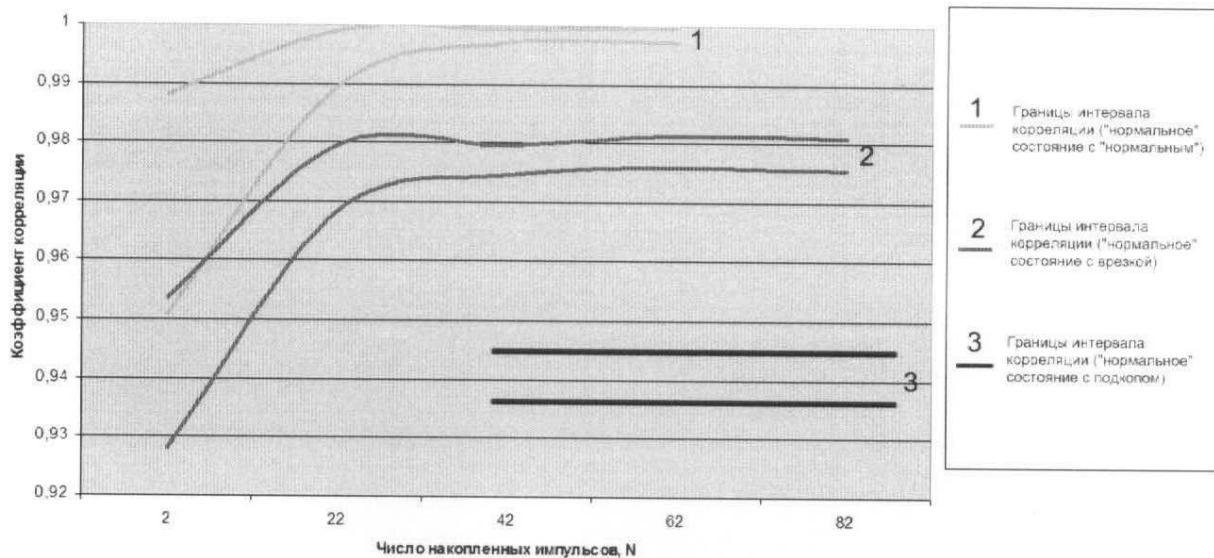


Фиг. 7



Фиг. 8

Доверительные интервалы коэффициента корреляции для трех состояний трубопровода при доверительной вероятности 99%



Фиг. 9