



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(52) СПК
G01N 29/04 (2021.08)

(21)(22) Заявка: 2021102519, 03.02.2021

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
03.02.2021

Дата регистрации:
26.10.2021

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 03.02.2021

(45) Опубликовано: 26.10.2021 Бюл. № 30

Адрес для переписки:

426069, Удмуртская Респ., г. Ижевск, ул.
Студенческая, 7, федеральное государственное
бюджетное образовательное учреждение
высшего образования "Ижевский
государственный технический университет
имени М.Т. Калашникова"

(72) Автор(ы):

Мышкин Юрий Владимирович (RU),
Муравьева Ольга Владимировна (RU),
Ворончихин Станислав Юрьевич (RU),
Самокрутов Андрей Анатольевич (RU)

(73) Патентообладатель(и):

федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего
образования "Ижевский государственный
технический университет имени М.Т.
Калашникова" (RU)

(56) Список документов, цитированных в отчете
о поиске: RU 2629896 C1, 04.09.2017. RU
2515957 C1, 20.05.2014. RU 136576 U1, 10.01.2014.
RU 2485388 C2, 20.06.2013. EP 0775910 A1,
28.05.1997. JP 2000146921 A, 26.05.2000.

(54) Способ акустического контроля трубопровода

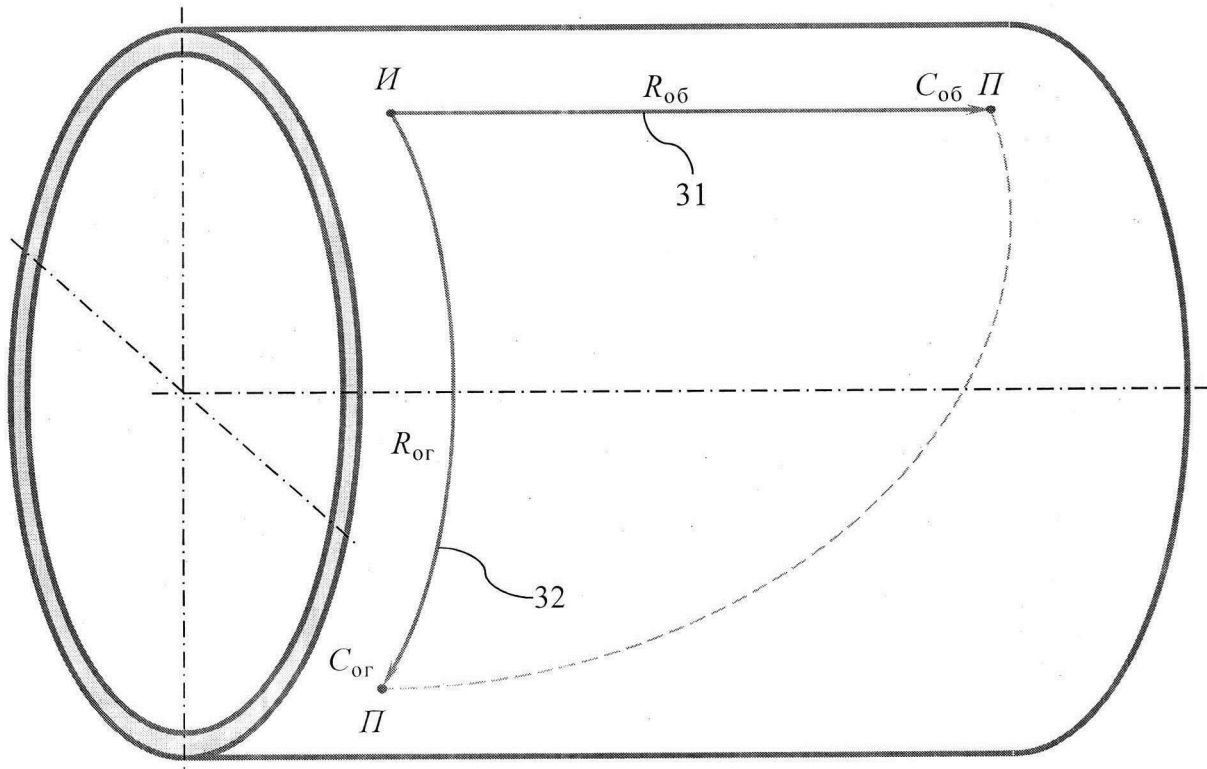
(57) Реферат:

Использование: для акустического
волноводного неразрушающего контроля труб.
Сущность изобретения заключается в том, что
осуществляют перемещение диагностического
устройства вдоль трубопровода, периодически
возбуждают ультразвуковые колебания. В
выбранном интервале времени принимают
ультразвуковые колебания от акустических
нормальных волн, прошедших по стенкам
трубопровода и отраженных от различных
нарушений сплошности материала стенок, причем
возбуждение и прием ультразвуковых колебаний
осуществляют в нескольких точках. Выбирают
эхо-сигналы по предварительно рассчитанным
временам задержек для всех типов акустических
нормальных волн, далее строят нормированные
распределения их амплитуд, затем строят

распределение величины, значения которой равны
максимальным значениям амплитуд суммарных
сигналов от разных типов акустических волн для
совпадающих по координатам точек поверхности
стенок трубопровода, и по этому распределению
судят о наличии и величине дефектов в стенках
трубопровода. При этом значения временных
задержек корректируют на основе
закономерности изменения скорости
распространения акустических нормальных волн,
возникающих вследствие наличия геометрической
анизотропии и анизотропии свойств материала
при различной толщине стенки трубопровода.
Технический результат: повышение
чувствительности и достоверности акустического
контроля труб. 3 з.п. ф-лы, 10 ил.

RU
2 7 5 8 1 9 5
C 1

RU
2 7 5 8 1 9 5
C 1



Фиг. 3



FEDERAL SERVICE
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(12) **ABSTRACT OF INVENTION**

(52) CPC
G01N 29/04 (2021.08)

(21)(22) Application: **2021102519, 03.02.2021**

(24) Effective date for property rights:
03.02.2021

Registration date:
26.10.2021

Priority:

(22) Date of filing: **03.02.2021**

(45) Date of publication: **26.10.2021 Bull. № 30**

Mail address:

426069, Udmurtskaya Resp., g. Izhevsk, ul. Studencheskaya, 7, federalnoe gosudarstvennoe byudzhethoe obrazovatelnoe uchrezhdenie vysshego obrazovaniya "Izhevskij gosudarstvennyj tekhnicheskij universitet imeni M.T. Kalashnikova"

(72) Inventor(s):

**Myshkin Yuriy Vladimirovich (RU),
Muraveva Olga Vladimirovna (RU),
Voronchikhin Stanislav Yurevich (RU),
Samokrutov Andrej Anatolevich (RU)**

(73) Proprietor(s):

federalnoe gosudarstvennoe byudzhethoe obrazovatelnoe uchrezhdenie vysshego obrazovaniya "Izhevskij gosudarstvennyj tekhnicheskij universitet imeni M.T. Kalashnikova" (RU)

(54) **PIPELINE ACOUSTIC CONTROL METHOD**

(57) Abstract:

FIELD: pipes testing.

SUBSTANCE: invention relates to the acoustic waveguide non-destructive testing of pipes. The substance of the invention lies in the fact that the diagnostic device is moved along the pipeline, ultrasonic vibrations are periodically excited. In the selected time interval, ultrasonic vibrations are received from acoustic normal waves that have passed along the walls of the pipeline and are reflected from various violations of the continuity of the wall material, and the excitation and reception of ultrasonic vibrations is carried out at several points. Echo signals are selected according to the pre-calculated delay times for all types of acoustic normal waves, then normalized distributions of their amplitudes are built, then the distribution of the quantity

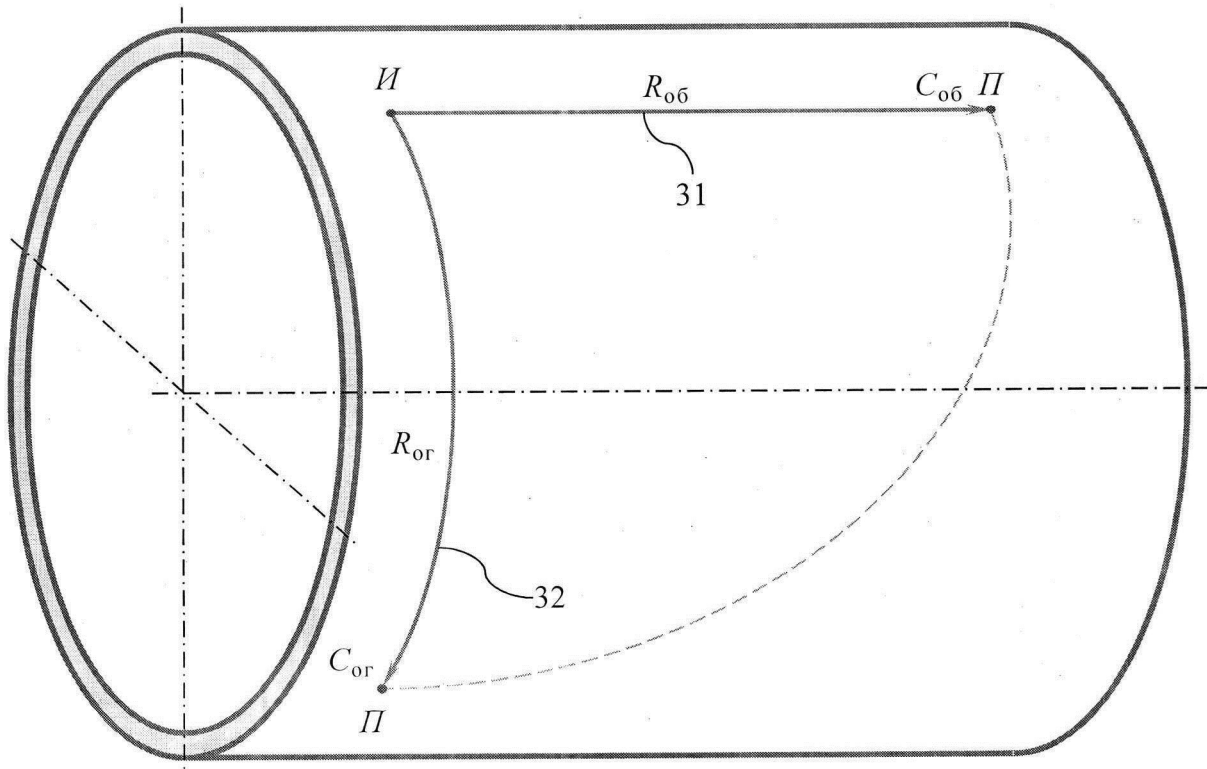
is plotted, the values of which are equal to the maximum values of the amplitudes of the total signals from different types of acoustic waves for the points of the pipeline wall surface that coincide in coordinates, and this distribution is judged on the presence and size of defects in the walls of the pipeline. The values of time delays are corrected on the basis of the regularity of changes in the propagation speed of acoustic normal waves arising from the presence of geometric anisotropy and anisotropy of material properties at different pipeline wall thicknesses.

EFFECT: increasing the sensitivity and reliability of acoustic control of pipes.

4 cl, 10 dwg

RU 2 758 195 C1

RU 2 758 195 C1



Фиг. 3

RU 2758195 C1

RU 2758195 C1

Изобретение относится к области акустического волноводного неразрушающего контроля труб и может быть использовано для выявления дефектов типа нарушения сплошности и однородности металла.

Известны способы акустического волноводного контроля труб и трубопроводов, основанные на эхоимпульсном методе контроля с использованием симметричных мод волны Лэмба или рэлеевской волны (US 7171854 B2, US 7751989 B2, US 7997139 B2), где в качестве излучателей и приемников акустической волны используются наклонные пьезоэлектрические преобразователи, устанавливаемые на внешнюю цилиндрическую поверхность трубы в виде кольца и разделенные на секторы по периметру трубы. Для повышения достоверности результатов контроля при таких способах применяются алгоритмы синтетической или активной фокусировки по секторам без сканирования по поверхности трубы.

Также известны способы и устройства акустического волноводного контроля труб и трубопроводов (US 8170809 B2, RU 2629894 C1, RU 108627 U1, RU 102810 U1), где в качестве излучателей и приемников акустической волны используют пьезоэлектрические преобразователи с сухим точечным контактом или электромагнитно-акустические преобразователи, излучающие и принимающие симметричные моды волны Лэмба или поперечные волны горизонтальной поляризации. Для повышения достоверности при таких способах применяют пространственно-временную обработку с синтетической фокусировкой со сканированием по цилиндрической внешней или внутренней поверхности трубы вдоль трубопровода или по его огибающей.

Недостатками известных способов является недостаточная достоверность при построении изображений дефектов при пространственной обработке принятых реализаций ультразвуковых колебаний из-за различия в скоростях распространения акустических нормальных волн в различных направлениях, возникающих вследствие наличия геометрической анизотропии и анизотропии свойств материала при различной толщине стенки; и, как следствие, невозможность оценки типа, размеров и формы дефекта.

Наиболее близким техническим решением по совокупности существенных признаков и достигаемому результату является способ, принятый за прототип, реализующий эхоимпульсный акустический волноводный контроль труб и трубопроводов (RU 2629896 C1). Способ контроля состоит в периодическом возбуждении в нескольких точках ультразвуковых колебаний в виде акустических нормальных волн, их распространении по стенкам трубопровода, отражении от различных нарушений сплошности материала стенок трубопровода и с помощью совместной обработки принятых реализаций ультразвуковых колебаний определении наличия дефектов в стенках трубопровода. Поочередное возбуждение и одновременный прием ультразвуковых колебаний осуществляется касательными к поверхности трубопровода колебательными силами в каждой точке с использованием связанного с поверхностью трубопровода диагностического устройства при его перемещении вдоль заданной области поверхности трубопровода в выбранном интервале времени из той же области реализации ультразвуковых колебаний от акустических нормальных волн. О наличии и величине дефектов в стенках трубопровода судят по распределению величины, значения которой равны максимальным значениям амплитуд суммарных сигналов от разных типов акустических волн в совокупности и по отдельности для совпадающих по координатам точек поверхности стенок трубопровода. Данное распределение получают путем когерентного суммирования реализаций колебаний, принятых во всех точках поверхности трубопровода, по предварительно рассчитанным временам задержки для

всех типов акустических нормальных волн по выбранным эхосигналам от каждой точки поверхности стенок. Для повышения достоверности при таком способе также применяется пространственно-временная обработка с синтетической фокусировкой со сканированием по цилиндрической внешней или внутренней поверхности трубы вдоль трубопровода или по его огибающей с учетом всех типов акустических нормальных волн: поперечной нормальной волны, симметричной и антисимметричной волны Лэмба нулевого порядка.

Недостатками способа-прототипа являются:

- недостаточная достоверность при построении изображений дефектов при пространственно-временной обработке принятых реализаций ультразвуковых колебаний методами когерентного суммирования и синтетической фокусировки из-за различия в скоростях распространения акустических нормальных волн в различных направлениях, возникающих вследствие наличия геометрической анизотропии и анизотропии свойств материала при различной толщине стенки; и, как следствие, невозможность оценки типа, размеров и формы дефекта;
- возникновение ложных отражений при регистрации ультразвуковых колебаний от нескольких типов волн, возникающей вследствие распространения различных типов волн под различными углами относительно оси трубопровода и трансформации типа волны на технологических (изгибы, сварные соединения и т.п.) и эксплуатационных (внутренние жидкие среды, отслоения защитного покрытия, обледенения и т.п.) особенностях трубопровода.

Технической задачей, на решение которой направлено заявленное изобретение, является повышение достоверности неразрушающего контроля трубопроводов.

Указанная задача решена тем, что при перемещении диагностического устройства вдоль трубопровода периодически возбуждают ультразвуковые колебания в пределах заданной области его поверхности связанной с диагностическим устройством. В выбранном интервале времени принимают из этой же области ультразвуковые колебания от акустических нормальных волн, прошедших по стенкам трубопровода и отраженных от различных нарушений сплошности материала стенок, причем возбуждение и прием ультразвуковых колебаний осуществляют в нескольких точках, соответствующих расположению акустических контактов приемно-излучающих элементов диагностического устройства в указанной области внешней или внутренней поверхностей трубопровода. Из реализаций колебаний, принятых во всех точках поверхности трубопровода при перемещении вдоль него, по предварительно рассчитанным временам задержек для всех типов акустических нормальных волн выбирают эхосигналы от каждой точки поверхности стенок, когерентно суммируют их для каждой точки поверхности отдельно для каждого типа волн, вычисляют амплитуды суммарных сигналов и строят нормированные распределения этих амплитуд в соответствии с координатами точек поверхности стенок трубопровода отдельно для каждого типа акустических волн, после чего строят одно распределение величины, значения которой равны максимальным значениям амплитуд суммарных сигналов от разных типов акустических волн для совпадающих по координатам точек поверхности стенок трубопровода, и по этому распределению судят о наличии и величине дефектов в стенках трубопровода. При этом диагностическое устройство снабжают вычислительным блоком, который, выполняя расчет временных задержек и когерентное суммирование эхосигналов от каждой точки поверхности стенок трубопровода, автоматически корректирует значения временных задержек на основе закономерности изменения скорости распространения акустических нормальных волн, возникающих вследствие

наличия геометрической анизотропии и анизотропии свойств материала при различной толщине стенки трубопровода, а диагностическое устройство предварительно калибруют с использованием упомянутой закономерности для трубы заданной геометрии.

Положительным результатом, обеспечиваемым раскрытой выше совокупностью признаков способа, является повышение чувствительности и достоверности акустического контроля труб за счет учета различий в скорости распространения акустических нормальных волн относительно выбранного направления, возникающих вследствие наличия геометрической анизотропии и анизотропии свойств материала при различной толщине стенки изделия.

Способ поясняется следующими чертежами, где на фиг. 1, 2 показаны распределения упругих смещений в момент времени t_1 и t_2 , иллюстрирующие геометрическую анизотропию при распространении волны по внутренней и наружной огибающей трубы; на фиг. 3 показана схема геометрической анизотропии при распространении волны по огибающей и образующей трубы; на фиг. 4 - представлен график зависимости скорости распространения симметричной нулевой моды волны Лэмба S_0 в стальной трубе диаметром 247 мм с толщиной стенки 8,4 мм, полученная в ходе моделирования при регистрации упругих колебаний на внешней поверхности трубы; на фиг. 5 - представлен график зависимости скорости распространения поперечных волн горизонтальной поляризации SH_0 в алюминиевой трубе диаметром 300 мм с толщиной стенки 5,6 мм, полученная в ходе моделирования при регистрации упругих колебаний на внешней поверхности трубы; на фиг. 6 представлен график эмпирической зависимости скорости распространения антисимметричной нулевой моды волны Лэмба A_0 в анизотропном стальном листе толщиной 8 мм; на фиг. 7 представлены модельные графики, иллюстрирующие совместное влияние геометрической анизотропии и анизотропии свойств материала на скорость распространения поперечных волн горизонтальной поляризации SH_0 в прямошовной трубе; на фиг. 8 приведены экспериментальные данные определения зависимости скорости распространения поперечных волн горизонтальной поляризации SH_0 в анизотропной стальной трубе диаметром 1020 мм с толщиной стенки 16 мм; на фиг. 9 приведены экспериментальные данные определения скорости распространения антисимметричной нулевой моды волны Лэмба A_0 в анизотропной стальной трубе диаметром 1020 мм с толщиной стенки 16 мм; на фиг. 10 приведены экспериментальные данные определения скорости распространения симметричной нулевой моды волны Лэмба S_0 в анизотропной стальной трубе диаметром 1020 мм с толщиной стенки 16 мм.

Способ акустического контроля трубопровода осуществляют следующим образом.

С цилиндрической поверхности трубопровода поочередно в нескольких точках производят возбуждение ультразвуковых колебаний с известными координатами на поверхности трубы. Расположение точек выбирается произвольно или систематизировано с определенной дискретой вдоль заданного направления сканирования. В этих же точках поочередно или одновременно осуществляется прием ультразвуковых колебаний. При перемещении этих точек вдоль заданного направления периодически повторяют поочередное возбуждение и одновременный прием в этих точках ультразвуковых колебаний. В результате в памяти диагностического устройства накапливается массив реализаций ультразвуковых колебаний. Каждая реализация является результатом излучения ультразвуковых волн из одной точки и приема колебаний в другой точке или, в частности, в той же самой, в которой колебания были возбуждены. Таким образом, в конечном результате контроля трубопровода в каждой точке осуществляется, по крайней мере, одно возбуждение и прием ультразвуковых

волн.

Тип возбуждаемой волны зависит от направления колебательных сил. Основные используемые типы волн - нормальные волны нулевого порядка, относящиеся к волнам в пластинах: поперечная волна горизонтальной поляризации SH₀, симметричная мода волны Лэмба S₀, антисимметричная мода волны Лэмба A₀, SH₀ волна возбуждается за счет поперечных касательных колебательных сил, S₀ - продольных касательных колебательных сил, A₀ - нормальных к поверхности изделия колебательных сил.

Возбуждение ультразвуковых колебаний производится ударным зондирующим импульсом для уменьшения добротности сигнала и увеличения разрешающей способности или периодическим импульсом с заданным периодом импульсов для сужения спектра основного сигнала и уменьшения влияния дисперсии скорости на результаты контроля. Каждая принятая реализация колебаний, записанная в диагностическое устройство, является набором эхосигналов от различных типов отражателей в стенке трубопровода и на его поверхности, таким образом, формируется эхограмма в виде временной развертки в точке приема ультразвуковых колебаний.

Далее для сложения эхограмм с использованием известных координат точек возбуждения и приема ультразвуковых колебаний рассчитывают временные задержки по известной скорости распространения акустических нормальных волн, при этом при расчете временных задержек и когерентном суммировании эхосигналов от каждой точки учитывают закономерности изменения скорости распространения акустических нормальных волн, возникающих вследствие наличия геометрической анизотропии, анизотропии свойств материала. Для оперативного выполнения данной операции диагностическое устройство снабжают вычислительным блоком которое, может быть выполнено в виде набора программируемых микросхем или микроконтроллера, снабженных памятью программ, содержащей управляющую программу, реализующую алгоритмы обработки эмпирических данных, получаемых от датчиков диагностического устройства, с учетом упомянутых закономерностей.

Перед выполнением контроля трубопровода диагностическое устройство калибруют с использованием закономерности изменения скорости акустических нормальных волн от их направления распространения. Данные закономерности рассчитываются для каждой заданной геометрии трубопровода (при этом ключевыми параметрами являются толщина стенки и диаметр) с учетом защитных покрытий, внутренних и внешних сред и могут быть получены, например, из экспериментальных данных, результатов численного моделирования или аналитических расчетов.

Под геометрической анизотропией понимается зависимость скорости распространения акустических нормальных волн от направления, связанного с геометрической формой изделия [1]. Явление геометрической анизотропии при распространении волны по внутренней и наружной огибающей трубы поясняют фиг. 1 и фиг. 2, согласно которым на внешней поверхности скорость увеличивается, а на внутренней - уменьшается. Объясняется это формированием плоского фронта волны в поперечном сечении трубы, где в каждый заданный момент времени фронт волны параллелен радиальному направлению. Так, за промежуток времени равном $(t_2 - t_1)$ (при $t_2 > t_1$) по внешней поверхности трубы волна прошла расстояние L_2 (фиг. 2), а по внутренней поверхности - L_1 , при этом $L_2 > L_1$, с учетом этого, скорости соответственно равны $C_2 = L_2 / (t_2 - t_1)$, $C_1 = L_1 / (t_2 - t_1)$ и $C_2 > C_1$. Таким образом, упругие смещения U_z при ультразвуковых колебаниях на внешней поверхности опережают смещения в середине стенки трубы, и, наоборот, смещения на внутренней поверхности запаздывают

относительно смещений в середине стенки трубы. При этом скорость распространения волны в середине стенки трубы соответствует теоретическому значению и может быть рассчитана с использованием аналитических формул. При распространении волны по огибающей трубы скорость волны изменяется в зависимости от диаметра и толщины

5

стенки трубы. Явление геометрической анизотропии при распространении волны в направлении по образующей 31 и огибающей 32 трубы поясняет фиг. 3. При распространении вдоль образующей трубы скорость волны соответствует значениям, рассчитываемых по классической теории распространения нормальных волн в пластинах. При равенстве

10 расстояний распространения волны вдоль огибающей $R_{ог}$ и образующей $R_{об}$ трубы при расположении источника И и приемника П упругих колебаний на внешней поверхности трубы скорость волны вдоль огибающей $C_{ог}$ будет больше скорости вдоль образующей $C_{об}$, и наоборот, при расположении источника И и приемника П упругих

15 колебаний на внутренней поверхности трубы скорость волны вдоль огибающей $C_{ог}$ будет меньше скорости вдоль образующей $C_{об}$. При распространении волны в произвольном направлении относительно образующей скорость меняется от максимального до минимального значения и также зависит от диаметра и толщины стенки трубы и используемого типа волн.

20

Влияние явления геометрической анизотропии на скорость распространения акустических нормальных волн исследовано теоретически с использованием моделирования методом конечных элементов. В качестве примера, на фиг. 4 представлена зависимость скорости распространения симметричной нулевой моды волны Лэмба S_0 в трубе диаметром 247 мм с толщиной стенки 8,4 мм от угла отклонения

25 траектории распространения волны от образующей трубы. Разность по скорости волны в направлениях по образующей 41 и по огибающей 42 составляет 280 м/с. Данные результаты исследований представлены в [2]. На фиг. 5 представлена зависимость скорости распространения поперечных волн горизонтальной поляризации SH_0 в алюминиевой трубе диаметром 300 мм с толщиной стенки 5,6 мм. Разность по скорости

30 в направлении по образующей 41 и огибающей 42 составила 160 м/с. Результаты исследований представлены в [3].

30

Кроме геометрической анизотропии, на скорость распространения нормальных волн оказывает влияние анизотропия упругих свойств материала проката, используемого при производстве труб. На фиг. 6 представлена зависимость скорости распространения

35 антисимметричной нулевой моды волны Лэмба в стальном листе от направления распространения относительно направления проката, обусловленная влиянием анизотропии упругих свойств материала [4]. Скорость волн максимальна в направлении прокатки 61 и минимальна в поперечном направлении 62. Изменение скорости волн в листе, обусловленного упругой анизотропией и текстурой проката менее существенно

40 и не превышает 25-30 м/с.

40

Совместное влияние анизотропии упругих свойств и геометрической анизотропии, где последняя оказывает наибольший вклад в изменение скорости, на угловую зависимость скорости распространения акустических нормальных волн для прямошовных труб, направление проката в которых совпадает с направлением

45 образующей 41 трубы схематично иллюстрирует фиг. 7. При наличии только геометрической анизотропии 71 скорость волны C в направлении по огибающей 42 трубы увеличивается относительно расчетного теоретического значения 72. При совокупном учете анизотропии свойств материала 73 и геометрической анизотропии

71 эта зависимость 74 искажается, при этом максимальная скорость регистрируется при меньших углах отклонения траектории распространения волны а вследствие дополнительного влияния анизотропии свойств, и разность по скорости становится менее значительной.

5 Совместное влияние анизотропии упругих свойств и геометрической анизотропии на угловую зависимость скорости распространения акустических нормальных волн подтверждено экспериментально. На фиг. 8, фиг. 9 и фиг. 10 представлены зависимости скорости распространения поперечных волн горизонтальной поляризации SH0 (фиг. 8), антисимметричной нулевой моды волны Лэмба A0 (фиг. 9) и симметричной нулевой
10 моды волны Лэмба S0 (фиг. 10) в магистральном прямошовном трубопроводе диаметром 1020 мм с толщиной стенки 16 мм. Разность по скорости для SH0 волны в направлениях по образующей 41 и огибающей 42 трубы, составила 80 м/с, для A0 волны - 60 м/с, для S0 волны - 40 м/с.

Совместное влияние анизотропии упругих свойств и геометрической анизотропии
15 на угловую зависимость скорости распространения акустических нормальных волн может быть учтено в алгоритмах обработки данных синтетической или активной фокусировки для контроля трубопроводов. В результате при пространственно-временной обработке (сложения эхограмм с рассчитанными временными задержками) получают дефектограмму в виде нормированного распределения по развертке трубы
20 совокупности ультразвуковых колебаний для каждого типа волны по отдельности.

Таким образом, предлагаемый способ позволяет учитывать влияние на результаты контроля геометрической анизотропии и анизотропии свойств материала на основе
предварительно полученных экспериментальным или численным путем зависимостей скорости от угла отклонения распространения акустической нормальной волны от
25 заданного направления. Учет влияния анизотропии достигается за счет того, что в алгоритмах синтетической или активной фокусировки временные задержки рассчитываются с поправкой на изменение в скорости распространения акустических нормальных волн относительно заданного направления. При этом улучшается
чувствительность и достоверность результатов контроля за счет увеличения амплитуды
30 сигнала при более точном синфазном сложении сигналов от дефектов, уменьшения погрешности в определении координат дефекта, уменьшения нечеткости при построении изображений дефектов, устранения артефактов ультразвуковых изображений, возникающих при трансформации на дефектах волн различных мод и типов.

Список использованных источников:

- 35 1. Myshkin Y.V., Murav'eva O. V., Voronchikhin, S.Y., Samokrutov, A.A., Shevaldykin, V.G.. Geometric anisotropy of velocity of horizontally polarized shear wave in pipe // Journal of Physics: Conference Series. - IOP Publishing, 2019. - Т. 1327. - №. 1. - P. 012023.
2. Myshkin Yu. V., Murav'eva O. V., Fotina A. A., Chukhlanceva T. S. The Propagation of
40 Symmetric Lamb Wave in the Hollow Cylinder // Instrumentation Engineering, Electronics and Telecommunications - 2019: Proceedings of the V International Forum (November 20-22, 2019, Izhevsk, Russian Federation). - Izhevsk: Publishing House of Kalashnikov ISTU, 2019. - P. 85-97.
3. Myshkin Yu. V., Murav'eva O. V., Sannikova Yu.O., Chukhlanceva T.S. The propagation
45 of horizontally polarized shear wave in the hollow cylinder // Instrumentation Engineering, Electronics and Telecommunications - 2018: Proceedings of the IV International Forum (December 12-14, 2018, Izhevsk, Russian Federation). - Izhevsk: Publishing House of Kalashnikov ISTU, 2018. - P. 51-65.

4. Murav'ev V. V., Murav'eva O. V., Volkova L.V. Influence of the mechanical anisotropy of thin steel sheets on the parameters of Lamb waves // Steel in Translation. - 2016. - T. 46. - №. 10. - P. 752-756.

5

(57) Формула изобретения

1. Способ акустического контроля трубопровода, включающий перемещение диагностического устройства вдоль трубопровода и периодическое возбуждение ультразвуковых колебаний в пределах заданной области его поверхности, связанной с диагностическим устройством, прием в выбранном интервале времени из этой же области ультразвуковых колебаний от акустических нормальных волн, прошедших по стенкам трубопровода и отраженных от различных нарушений сплошности материала стенок, причем возбуждение и прием ультразвуковых колебаний осуществляют в нескольких точках, соответствующих расположению акустических контактов приемно-излучающих элементов диагностического устройства в указанной области внешней или внутренней поверхностей трубопровода, выбор эхосигналов от каждой точки поверхности стенок из реализаций колебаний, принятых во всех точках поверхности трубопровода при перемещении вдоль него, по предварительно рассчитанным временам задержек для всех типов акустических нормальных волн, когерентное суммирование эхосигналов для каждой точки поверхности отдельно для каждого типа волн, вычисление амплитуды суммарных сигналов и построение нормированных распределений этих амплитуд в соответствии с координатами точек поверхности стенок трубопровода отдельно для каждого типа акустических волн, построение одного распределения величины, значения которой равны максимальным значениям амплитуд суммарных сигналов от разных типов акустических волн для совпадающих по координатам точек поверхности стенок трубопровода, отличающийся тем, что по распределению величины судят о наличии и величине дефектов в стенках трубопровода, при этом диагностическое устройство снабжают вычислительным блоком, который, выполняя расчет временных задержек и когерентное суммирование эхосигналов от каждой точки поверхности стенок трубопровода, автоматически корректирует значения временных задержек на основе закономерности изменения скорости распространения акустических нормальных волн, возникающих вследствие наличия геометрической анизотропии и анизотропии свойств материала при различной толщине стенки трубопровода, а диагностическое устройство предварительно калибруют с использованием упомянутой закономерности для трубы заданной геометрии.

35

2. Способ по п. 1, отличающийся тем, что возбуждение ультразвуковых колебаний осуществляют ударным зондирующим импульсом.

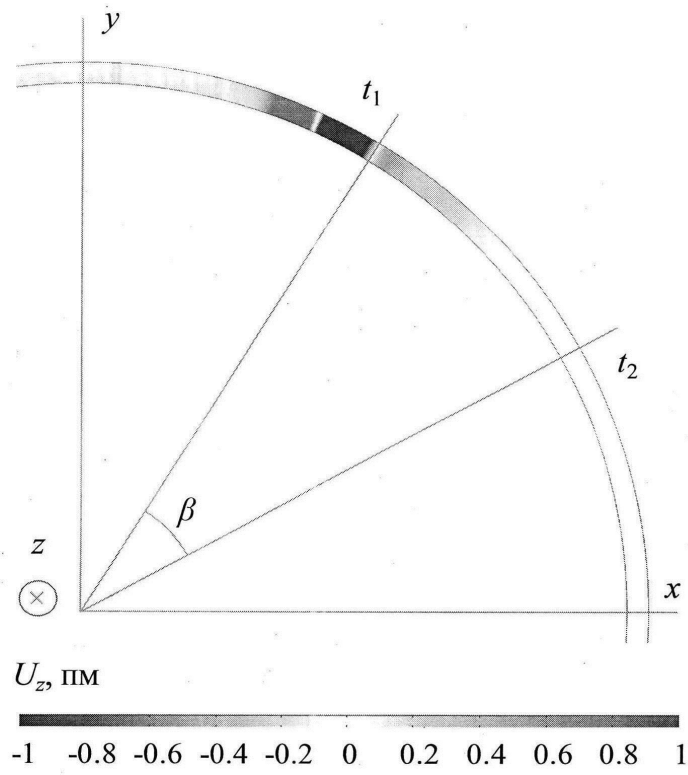
3. Способ по п. 1, отличающийся тем, что возбуждение ультразвуковых колебаний осуществляют периодическим импульсом.

40

4. Способ по п. 1, отличающийся тем, что вычислительный блок выполняют в виде набора программируемых микросхем или микроконтроллера, снабженных памятью программ, содержащей управляющую программу, реализующую алгоритмы обработки эмпирических данных, получаемых от датчиков диагностического устройства.

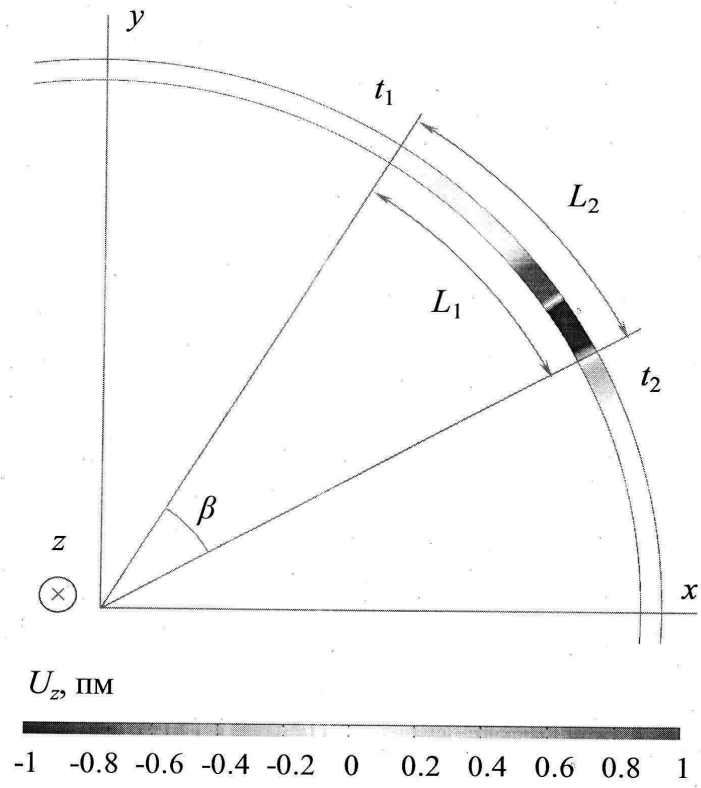
45

1

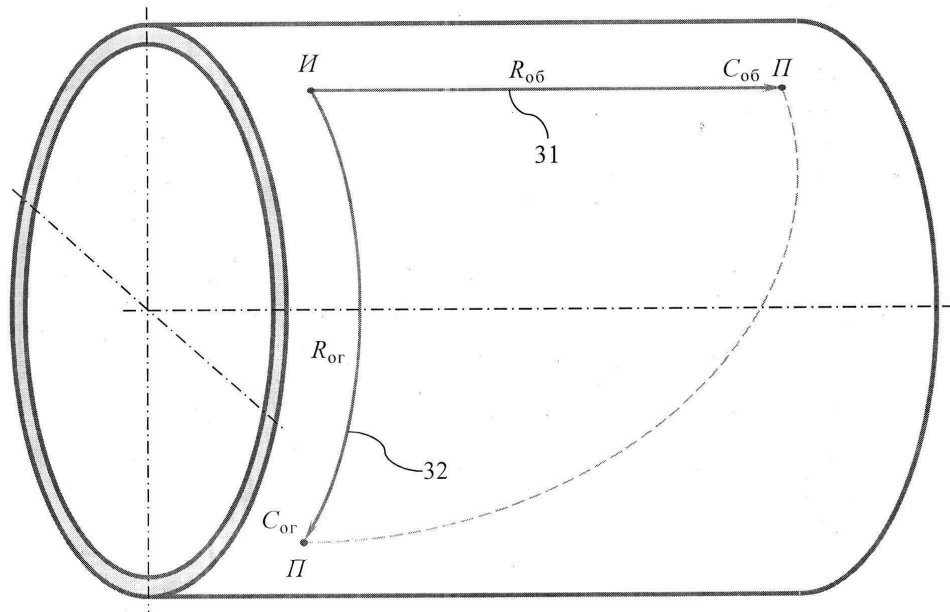


Фиг. 1

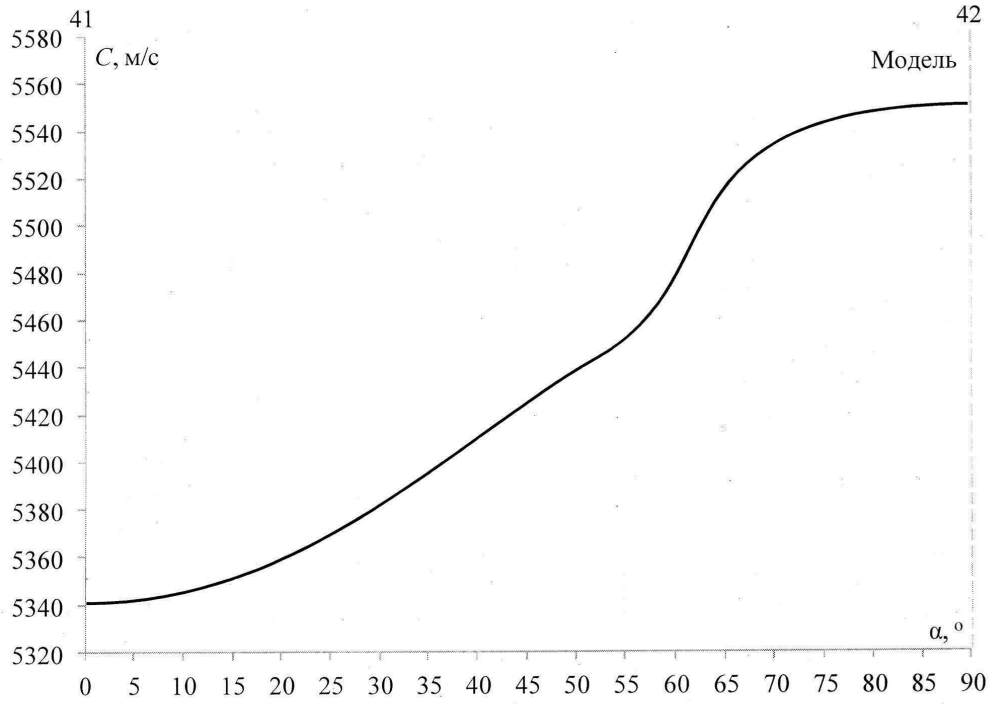
2



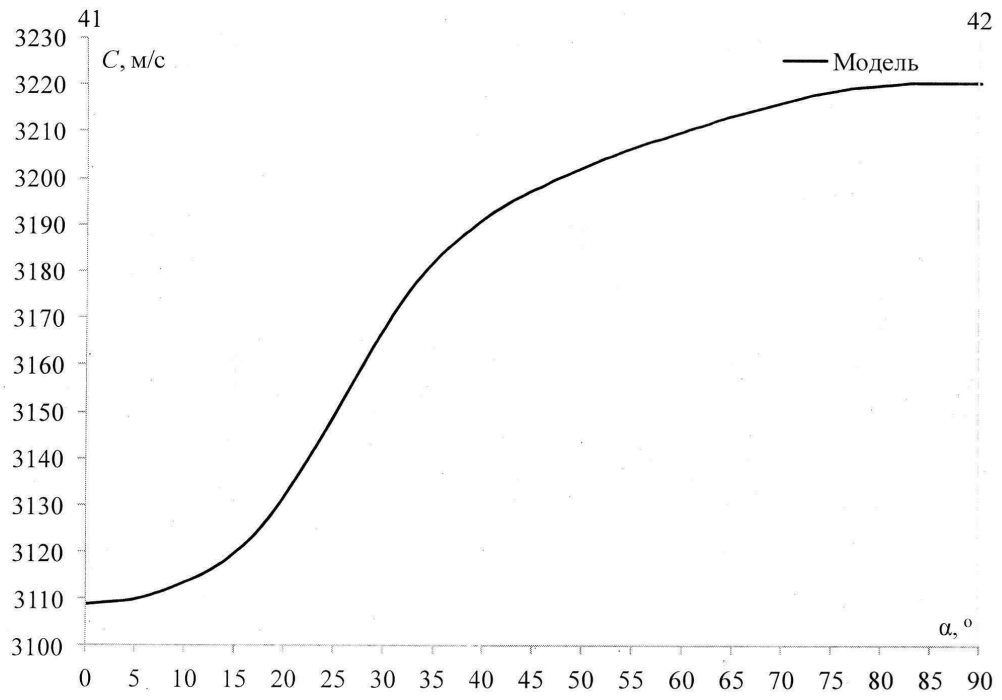
Фиг. 2



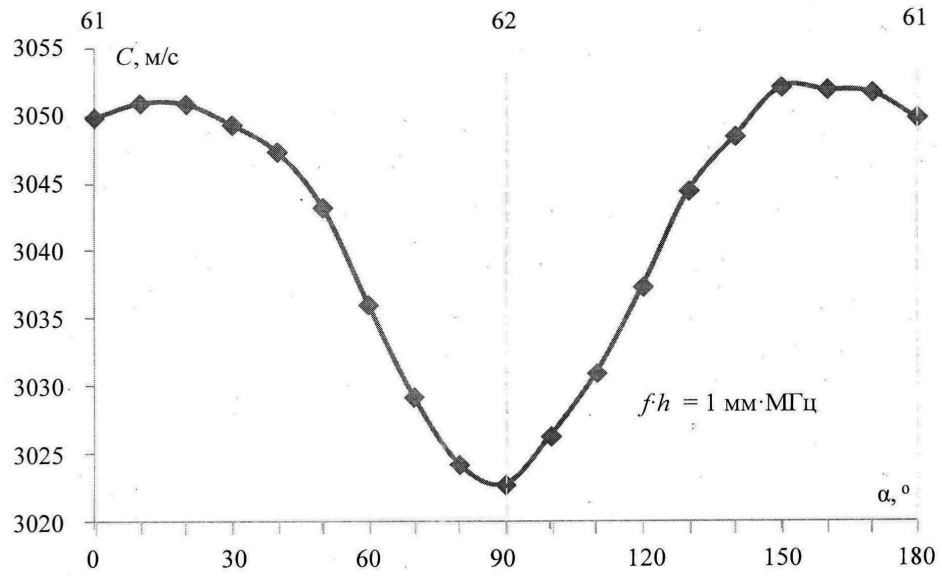
Фиг. 3



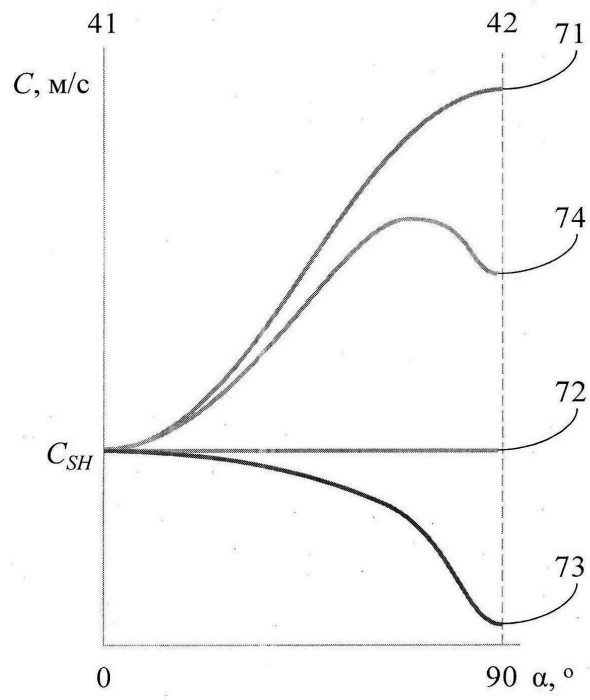
Фиг. 4



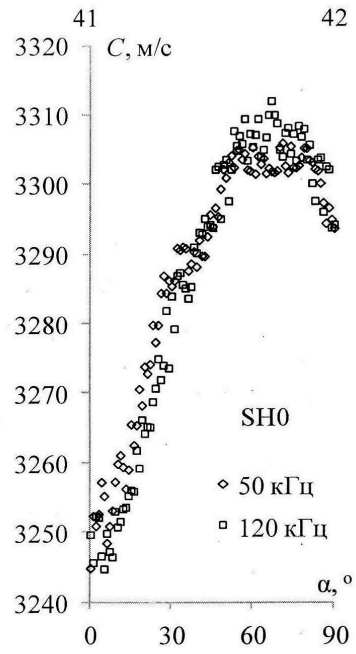
Фиг. 5



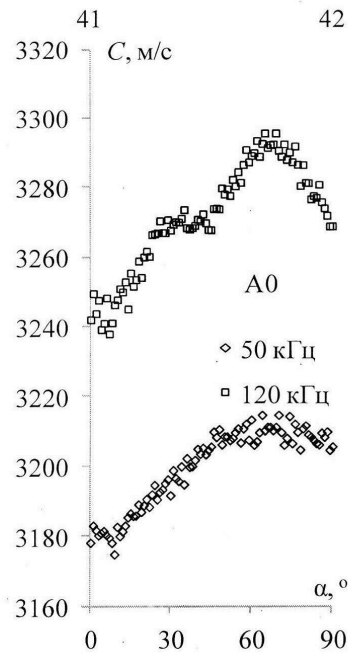
Фиг.6



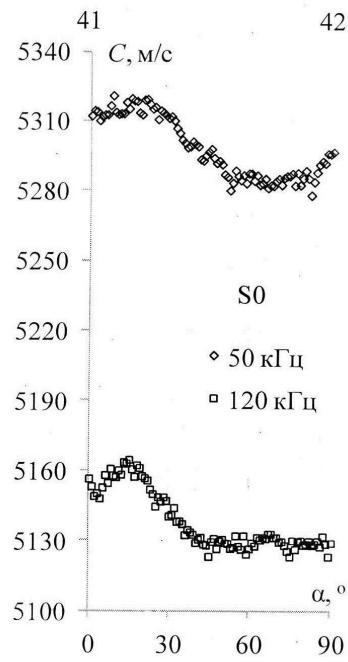
Фиг.7



Фиг.8



Фиг.9



Фиг.10