



**ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА  
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ**

**(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ**

(21)(22) Заявка: 2011154726/28, 30.12.2011

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:  
30.12.2011

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 30.12.2011

(43) Дата публикации заявки: 10.07.2013 Бюл. № 19

(45) Опубликовано: 10.11.2013 Бюл. № 31

(56) Список документов, цитированных в отчете о поиске: RU 2397490 C2, 20.08.2010. SU 987510 A1, 07.01.1983. SU 1730573 A1, 30.04.1992. SU 1539652 A1, 30.01.1990. US 6065342 A, 23.05.2000. US 3985024 A, 12.10.1976.

Адрес для переписки:

445667, Самарская обл., г. Тольятти, ГСП,  
ул. Белорусская, 14, начальнику ОтИС ТГУ  
В.А. Романеву

(72) Автор(ы):

**Виноградов Алексей Юрьевич (RU),  
Костин Владимир Иванович (RU),  
Мерсон Дмитрий Львович (RU)**

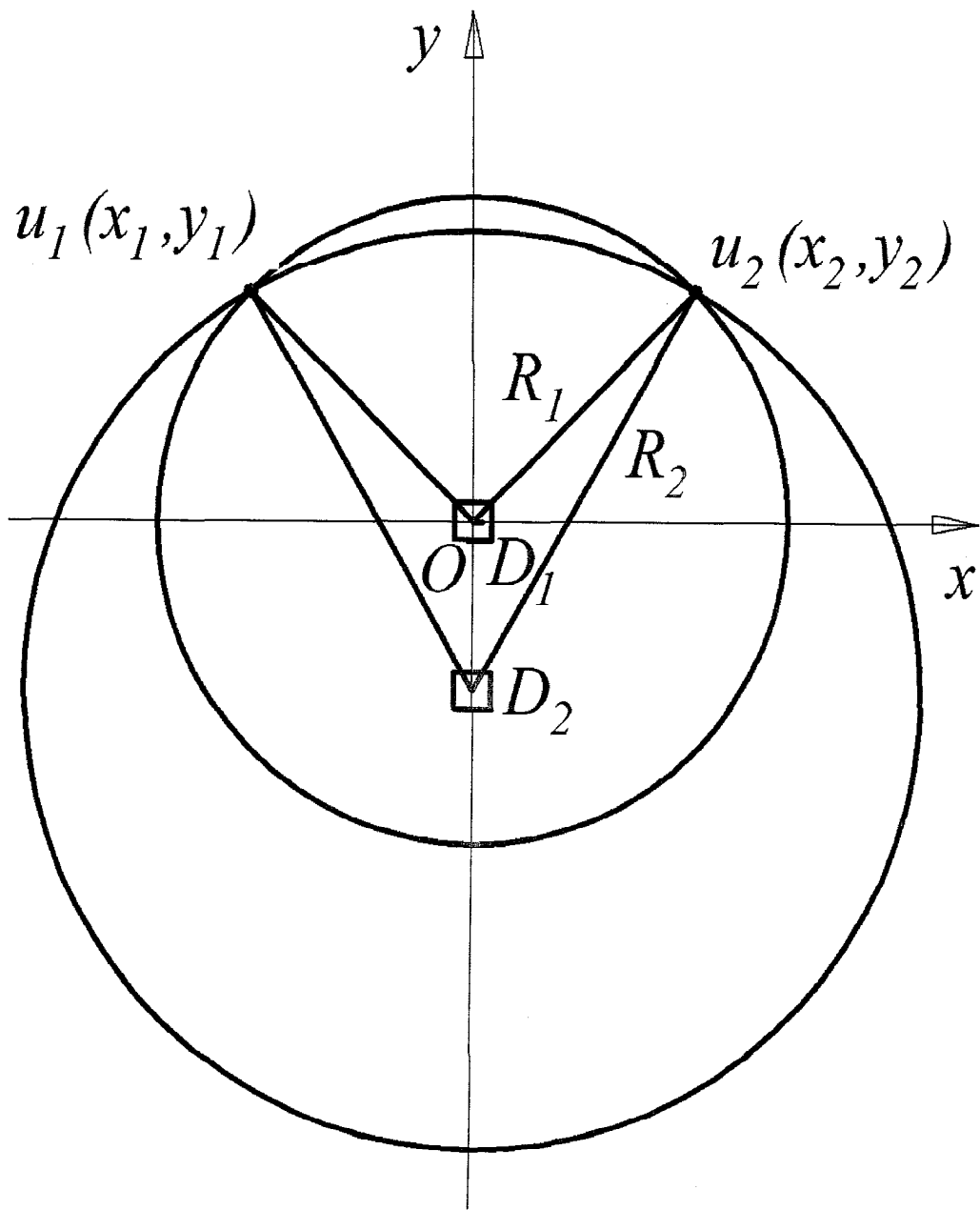
(73) Патентообладатель(и):

**Федеральное государственное бюджетное  
образовательное учреждение высшего  
профессионального образования  
"Тольяттинский государственный  
университет" (RU)****(54) СПОСОБ ОПРЕДЕЛЕНИЯ КООРДИНАТ ИСТОЧНИКА АКУСТИЧЕСКОЙ ЭМИССИИ**

(57) Реферат:

Использование: для определения координат источника акустической эмиссии. Сущность: заключается в том, что на контролируемом изделии на некотором расстоянии друг от друга устанавливают два преобразователя акустической эмиссии, изделие нагружают, принимают сигналы акустической эмиссии, генерируемые дефектом изделия, регистрируют моды волн Лэмба в виде волнового пакета, после представления которого частотно-временной зависимостью на спектрограммах

выделяют энергетические максимумы антисимметричных и симметричных мод, по разнице во времени прихода энергетических максимумов на выбранных частотах определяют расстояния между преобразователем и источником акустической эмиссии, после чего по полученным результатам рассчитывают координаты дефекта изделия. Технический результат: повышение точности определения местоположения источника акустической эмиссии. 6 ил.



Фиг. 3



FEDERAL SERVICE  
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(51) Int. Cl.  
*G01N 29/14* (2006.01)

(12) **ABSTRACT OF INVENTION**

(21)(22) Application: 2011154726/28, 30.12.2011

(24) Effective date for property rights:  
30.12.2011

Priority:

(22) Date of filing: 30.12.2011

(43) Application published: 10.07.2013 Bull. 19

(45) Date of publication: 10.11.2013 Bull. 31

Mail address:

445667, Samarskaja obl., g. Tol'jatti, GSP, ul.  
Belorusskaja, 14, nachal'niku Otdel' TGU V.A.  
Romaneevu

(72) Inventor(s):

Vinogradov Aleksej Jur'evich (RU),  
Kostin Vladimir Ivanovich (RU),  
Merson Dmitrij L'vovich (RU)

(73) Proprietor(s):

Federal'noe gosudarstvennoe bjudzhetnoe  
obrazovatel'noe uchrezhdenie vysshego  
professional'nogo obrazovanija "Tol'jattinskij  
gosudarstvennyj universitet" (RU)

(54) **METHOD OF DETERMINING COORDINATES OF ACOUSTIC EMISSION SOURCE**

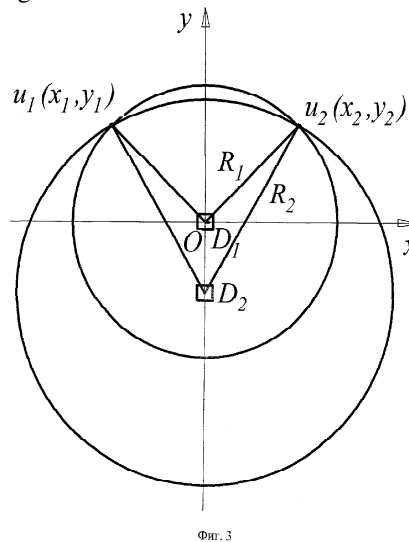
(57) Abstract:

FIELD: physics.

SUBSTANCE: two acoustic emission transducers are placed on an inspected article at a certain distance from each other; the article is loaded; acoustic emission signals generated by a defect on the article are received; Lamb wave modes are recorded in form of a wave packet, after presentation of which a frequency-time curve on spectrograms is used to select energy maxima of antisymmetric and symmetric modes; the difference in time of arrival of energy maxima at selected frequencies is used to determine distance between the transducer and the acoustic emission source, after which the obtained results are used to calculate coordinates of the defect on the article.

EFFECT: high accuracy of locating an acoustic emission source.

6 dwg



R U 2 4 9 8 2 9 3 C 2

R U 2 4 9 8 2 9 3 C 2

Изобретение относится к неразрушающим методам контроля и может быть использовано в химической, нефтехимической, энергетической, металлургической промышленности, на объектах транспорта.

Известен способ определения расстояния между источником и приемником сигналов акустической эмиссии (SV 741142 A1, МПК G01N 29/04, дата подачи заявки 23.10.1978).

Сущность известного способа заключается в следующем. На контролируемое изделие устанавливают преобразователи акустической эмиссии, изделие нагружают, принимают по двум каналам сигналы акустической эмиссии, генерируемые дефектом изделия, измеряют интервалы времени между моментами появления сигналов в разных каналах, принимая за моменты появления сигналов сигналы двух выделенных мод волны Лэмба, и определяют расстояние между источником и приемником по измеренным интервалам и скорости распространения сигналов.

Недостатками данного способа являются сложность реализации, так как для регистрации каждой из двух мод волны Лэмба требуется наличие своего преобразователя и измерительного канала, при этом необходимо определять момент прихода каждой моды и измерять интервалы времени, т.е. использовать пороговый метод обнаружения сигналов, обладающий большой погрешностью. В дополнение, данный способ предполагает использование направленных преобразователей, а для этого необходимо знать заранее направление, с которого придет сигнал. Кроме того, скорость распространения мод волны Лэмба зависит от частоты и две разные моды могут иметь одинаковую скорость на разных или одной частоте. Необходимость учитывать это обстоятельство значительно усложняет задачу и сказывается на точности определения расстояния.

Наиболее близким по технической сущности к предлагаемому изобретению является способ определения расстояния между преобразователем и источником акустической эмиссии (RU 2397490 C2, МПК G01N 29/14, дата подачи заявки 07.08.2007), заключающийся в том, что на контролируемом изделии, представляющем из себя плоский лист, устанавливают преобразователь акустической эмиссии, изделие нагружают, принимают сигналы акустической эмиссии, генерируемые дефектом, регистрируют моды волн Лэмба в виде волнового пакета, после представления которого частотно-временной зависимостью на спектрограммах выделяют энергетические максимумы антисимметричных и симметричных мод, а расстояние между преобразователем и источником акустической эмиссии рассчитывают по разнице во времени прихода энергетических максимумов на выбранных частотах.

Недостатком данного способа является то, что в определении положения источника акустической эмиссии возникает неопределенность, так как геометрическое место точек (координат источника), равноудаленных от данной (приемника акустической эмиссии), представляет собой, на плоском образце, окружность радиуса, равного определяемому расстоянию до источника (Фиг.1), а на цилиндрическом образце, например трубопроводе, геометрическое место точек, равноудаленных от данной по образующей поверхности (Фиг.2).

С учетом того, что дальность локации может достигать величин порядка десятков метров, ценность информации о расстоянии до источника акустической эмиссии становится чрезвычайно незначительной, особенно в реальных испытаниях, например, на трубопроводах.

Задачей изобретения является повышение точности определения местоположения

источника акустической эмиссии.

Поставленная задача решается тем, что в способе определения расстояния между преобразователем и источником акустической эмиссии, заключающемся в том, что на контролируемом изделии устанавливают преобразователь акустической эмиссии, изделие нагружают, принимают сигналы акустической эмиссии, генерируемые дефектом, регистрируют моды волн Лэмба в виде волнового пакета, после представления которого частотно-временной зависимостью на спектрограммах выделяют энергетические максимумы антисимметричных и симметричных мод, а расстояние между преобразователем и источником акустической эмиссии рассчитывают по времени прихода энергетических максимумов на выбранных частотах. Согласно изобретению на контролируемом изделии устанавливают два преобразователя акустической эмиссии, определяют расстояние от источника до каждого из преобразователей и затем рассчитывают координаты дефекта изделия - источника акустической эмиссии.

Технический результат предлагаемого изобретения выражается в следующем. За счет одновременного определения расстояний от источника акустической эмиссии до двух преобразователей, разнесенных на некоторое расстояние друг от друга, появляется возможность определения по данным измерения одного импульса акустической эмиссии координат источника акустической эмиссии, что значительно повышает практическую ценность метода.

Предлагаемый способ реализуется следующим образом. На испытуемом изделии - металлическом листе, трубопроводе и т.д. устанавливают два преобразователя акустической эмиссии (ПАЭ), подсоединенные к измерительному каналу системы. Сигнал акустической эмиссии, генерируемый имеющимся в изделии дефектом или имитируемый с помощью источника Хсу-Нильсена регистрируется ПАЭ, осциллографом, подвергается непрерывному вейвлет-преобразованию и представляется в координатах время-частота.

Далее на спектрограммах выделяют энергетические максимумы  $A_1(f,t)$ ,  $A_2(f,t)$  - антисимметричных и/или  $S_1(f,t)$ ,  $S_2(f,t)$  - симметричных мод сигналов ПАЭ одного и другого, анализируя частотно-временные представления  $A_i(f,t)$  и/или  $S_i(f,t)$  ( $i=1,2$ ) определяют разницу  $T_i$  во времени прихода разных мод на разных или одной частоте, или одной моды на разных частотах, а координаты источника акустической эмиссии рассчитывают по формулам:

а) для плоских образцов (Фиг.3) - декартовы координаты ( $x, y$ ) - по разнице во времени прихода энергетических максимумов разных мод на разных или одной частоте:

$$y_1 = y_2 = \left( \frac{v_A \cdot v_S}{v_A - v_S} \right)^2 \left( \frac{T_{2,A-S}^2 - T_{1,A-S}^2}{2a} \right) - \frac{a}{2} \quad (1)$$

$$x_{1/2} = \pm \sqrt{\left( \frac{v_A \cdot v_S}{v_A - v_S} \right)^2 T_{1,A-S}^2 - \left[ \left( \frac{v_A \cdot v_S}{v_A - v_S} \right)^2 \left( \frac{T_{2,A-S}^2 - T_{1,A-S}^2}{2a} \right) - \frac{a}{2} \right]^2}, \quad (2)$$

где  $v_A$ ,  $v_S$  - скорости прихода энергетических максимумов антисимметричной и симметричной мод соответственно;

$T_{1,A-S}$  - разность во времени прихода энергетических максимумов антисимметричной и симметричной мод в первом ( $i=1$ ) и во втором ( $i=2$ ) ПАЭ;  $a=y_{o2}-y_{o1}$  - расстояние между ПАЭ;

для расчета координат по разнице во времени прихода энергетических максимумов

одной моды на разных частотах:

$$y_1 = y_2 = \left( \frac{v_{f1} \cdot v_{f2}}{v_{f1} - v_{f2}} \right)^2 \left( \frac{T_{2,f2-f1}^2 - T_{1,f2-f1}^2}{2a} \right) - \frac{a}{2}, \quad (3)$$

$$x_{1/2} = \pm \sqrt{\left( \frac{v_{f1} \cdot v_{f2}}{v_{f1} - v_{f2}} \right)^2 T_{1,f2-f1}^2 - \left[ \left( \frac{v_{f1} \cdot v_{f2}}{v_{f1} - v_{f2}} \right)^2 \left( \frac{T_{2,f1-f2}^2 - T_{1,f1-f2}^2}{2a} \right) - \frac{a}{2} \right]^2}, \quad (4)$$

где  $v_{f1}, v_{f2}$  - скорости прихода энергетических максимумов симметричной либо антисимметричной моды на частотах  $f_1$  и  $f_2$ ;

$T_{1,f1-f2}, T_{2,f1-f2}$  - разницы во времени прихода энергетических максимумов симметричной либо антисимметричной моды на частотах  $f_1$  и  $f_2$  на первый и второй ПАЭ соответственно;

б) для тонкостенных цилиндрических образцов радиуса  $r$  - цилиндрические координаты  $(\rho, z, \varphi)$ :

$$\rho_1 = \rho_2 = r, \quad (5)$$

$$z_1 = z_2 = \left( \frac{v_{A,f1} \cdot v_{S,f2}}{v_{A,f1} - v_{S,f2}} \right)^2 \left( \frac{T_{2,A,f2-f1}^2 - T_{1,S,f2-f1}^2}{2a} \right) - \frac{a}{2}, \quad (6)$$

$$\varphi_{1/2} = \pm \frac{1}{r} \sqrt{\left( \frac{v_{A,f1} \cdot v_{S,f2}}{v_{A,f1} - v_{S,f2}} \right)^2 T_{1,S,f2-f1}^2 - \left[ \left( \frac{v_{A,f1} \cdot v_{S,f2}}{v_{A,f1} - v_{S,f2}} \right)^2 \left( \frac{T_{2,A,f2-f1}^2 - T_{1,S,f2-f1}^2}{2a} \right) - \frac{a}{2} \right]^2}, \quad (7)$$

где  $D$  - диаметр цилиндрического образца.

Сечение  $z_1=z_2$  цилиндрического образца, содержащее дефект, определяется однозначно.

Дисперсионные экспериментальные кривые скоростей  $v_A(f)$  и  $v_S(f)$  мод волн Лэмба могут быть рассчитаны методом конечных элементов для конкретного материала и геометрии изделия либо определены экспериментально при возбуждении импульса акустической эмиссии имитатором в точке с известными координатами.

На Фиг.1 представлено возможное положение источника акустической эмиссии при определении расстояния на плоских образцах с помощью одного ПАЭ. Определяемое расстояние  $R$  удовлетворяет уравнению  $x^2+y^2=R^2$  в декартовых координатах.

$D$  - преобразователь акустической эмиссии.

На Фиг.2 представлено возможное положение источника акустической эмиссии при определении расстояния на цилиндрических образцах с помощью одного ПАЭ.

Определяемое расстояние  $R$  удовлетворяет уравнению  $\rho^2\varphi^2+z^2=R^2$  в цилиндрических координатах;

$\rho=r$ , где  $r$  - радиус цилиндрической поверхности.

На Фиг.3 представлено возможное положение источника акустической эмиссии в случае применения двух ПАЭ на плоских образцах - это две точки  $u_1$  и  $u_2$  плоскости декартовыми координатами.

$$Y_1 = Y_2 = \frac{R_2^2 - R_1^2 - a^2}{2a};$$

$$x_{1,2} = \pm \sqrt{R_1^2 \left( \frac{R_2^2 - R_1^2 - a^2}{2a} \right)^2};$$

$a$  - расстояние между ПАЭ  $D_1$  и  $D_2$ .

На Фиг.4 представлено возможное положение источника акустической эмиссии в

случае применения двух ПАЭ на цилиндрических образцах - это две точки  $u_1$  и  $u_2$  поверхности с цилиндрическими координатами

$$\rho_1 = \rho_2 = r ;$$

$$z_1 = z_2 = \frac{R_2^2 - R_1^2 - a^2}{2a} ;$$

$$\varphi_{1,2} = \pm \frac{1}{r} \sqrt{R_1^2 \left( \frac{R_2^2 - R_1^2 - a^2}{2a} \right)^2} .$$

На Фиг.5 и 6 приведены данные для сигнала акустической эмиссии, полученные при испытании на медном плоском образце.

В верхней части каждой фигуры приведены акустические импульсы, зарегистрированные пьезоэлектрическим приемником акустической эмиссии и оцифрованные с помощью аналого-цифрового преобразователя. Частота оцифровки импульсов - 6,25 МГц.

В нижней части каждой фигуры приведены частотно-временные представления каждого импульса, полученные в результате непрерывного вейвлет-преобразования.

Полученного в результате вейвлет-преобразования данные для расчета, когда проводили калибровочные измерения скоростей  $v_S$  и  $v_A$  симметричной и антисимметричной волн Лэмба:

$T_{D_1}^S = 1,2752 \cdot 10^{-3}$  с,  $T_{D_1}^A = 1,4368 \cdot 10^{-3}$  с - времена прихода максимумов симметричной и

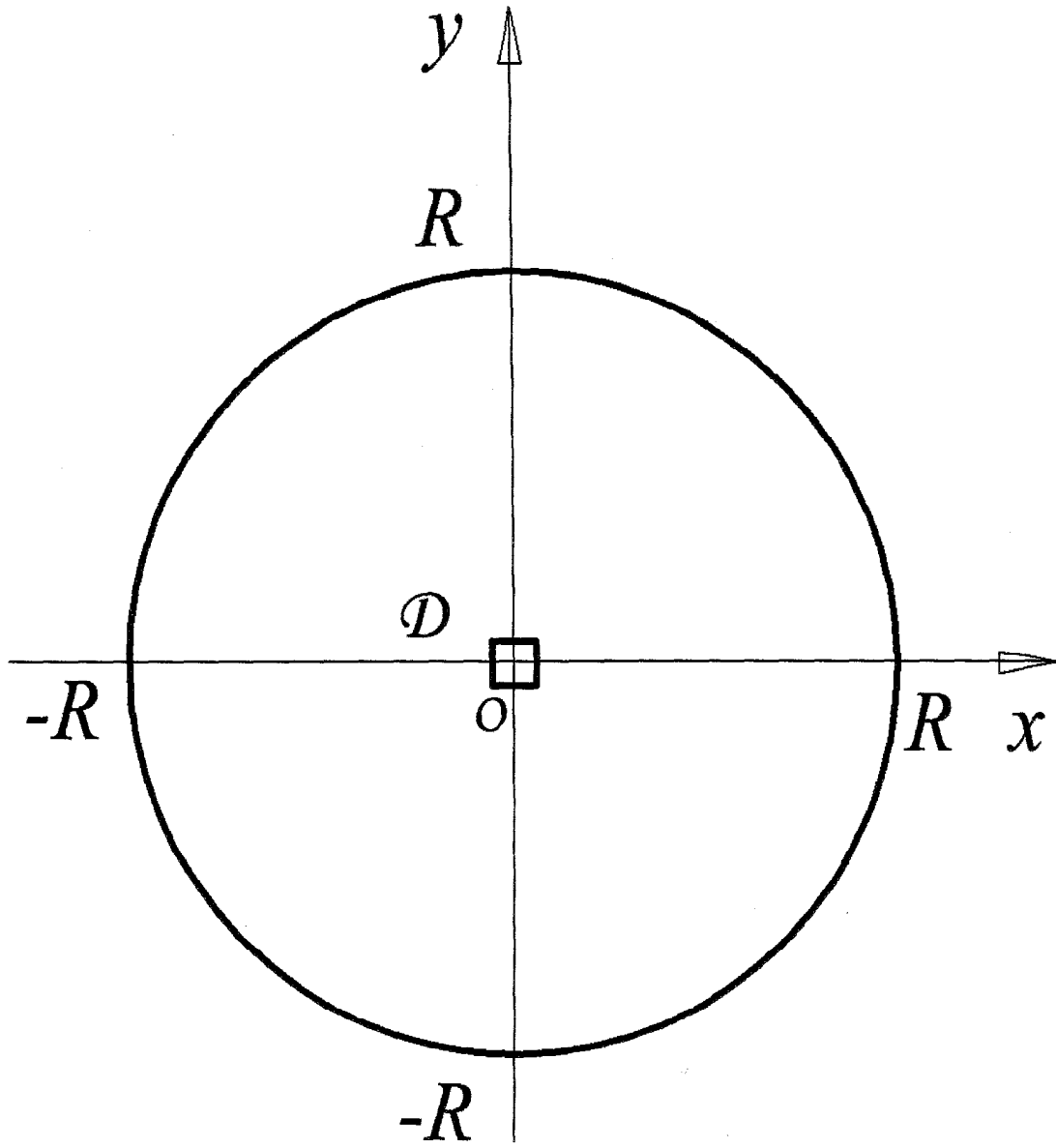
антисимметричной мод Лэмба на первый ПАЭ  $D_1$ ,  $T_{D_2}^S = 1,4504 \cdot 10^{-3}$  с,  $T_{D_2}^A = 1,6624 \cdot 10^{-3}$

с - времена прихода максимумов симметричной и антисимметричной волн Лэмба.

Тогда значение скоростей  $v_S$  и  $v_A$  соответствующих мод при расстоянии  $a=0,5$  м между ПАЭ  $D_1$  и  $D_2$ :  $v_S=2854$  м/с,  $v_A=2180$  м/с, а искомые координаты источника акустической эмиссии:  $x_1=x_2=0$ ,  $y_1=y_2=1,38$  м. Ошибка в определении координат не превысила 10%.

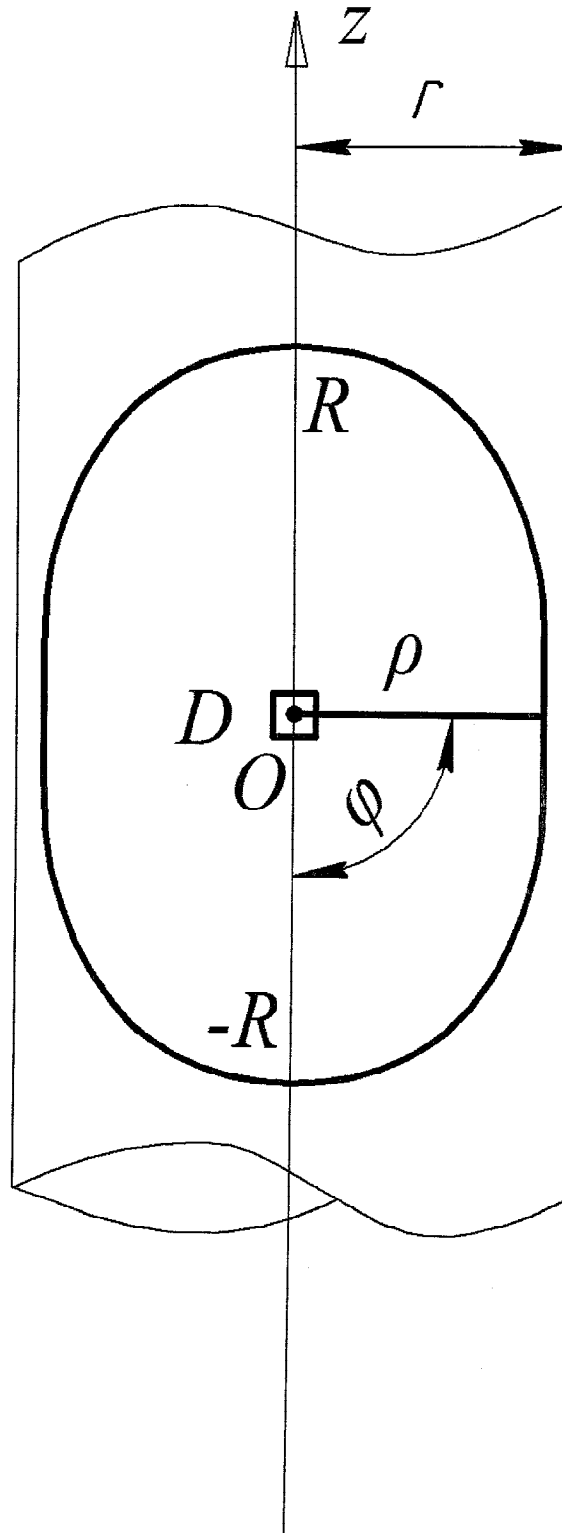
#### Формула изобретения

Способ определения координат источника акустической эмиссии, заключающийся в том, что на контролируемом изделии устанавливают преобразователь акустической эмиссии, изделие нагружают, принимают сигналы акустической эмиссии, генерируемые дефектом изделия, регистрируют моды волн Лэмба в виде волнового пакета, после представления которого частотно-временной зависимостью на спектрограммах выделяют энергетические максимумы антисимметричных и симметричных мод, по разнице во времени прихода энергетических максимумов на выбранных частотах определяют расстояние между преобразователем и источником акустической эмиссии, отличающийся тем, что на контролируемом изделии на некотором расстоянии друг от друга два преобразователя акустической эмиссии определяют расстояние от источника эмиссии до каждого из преобразователей, а по полученным результатам рассчитывают координаты дефекта изделия.

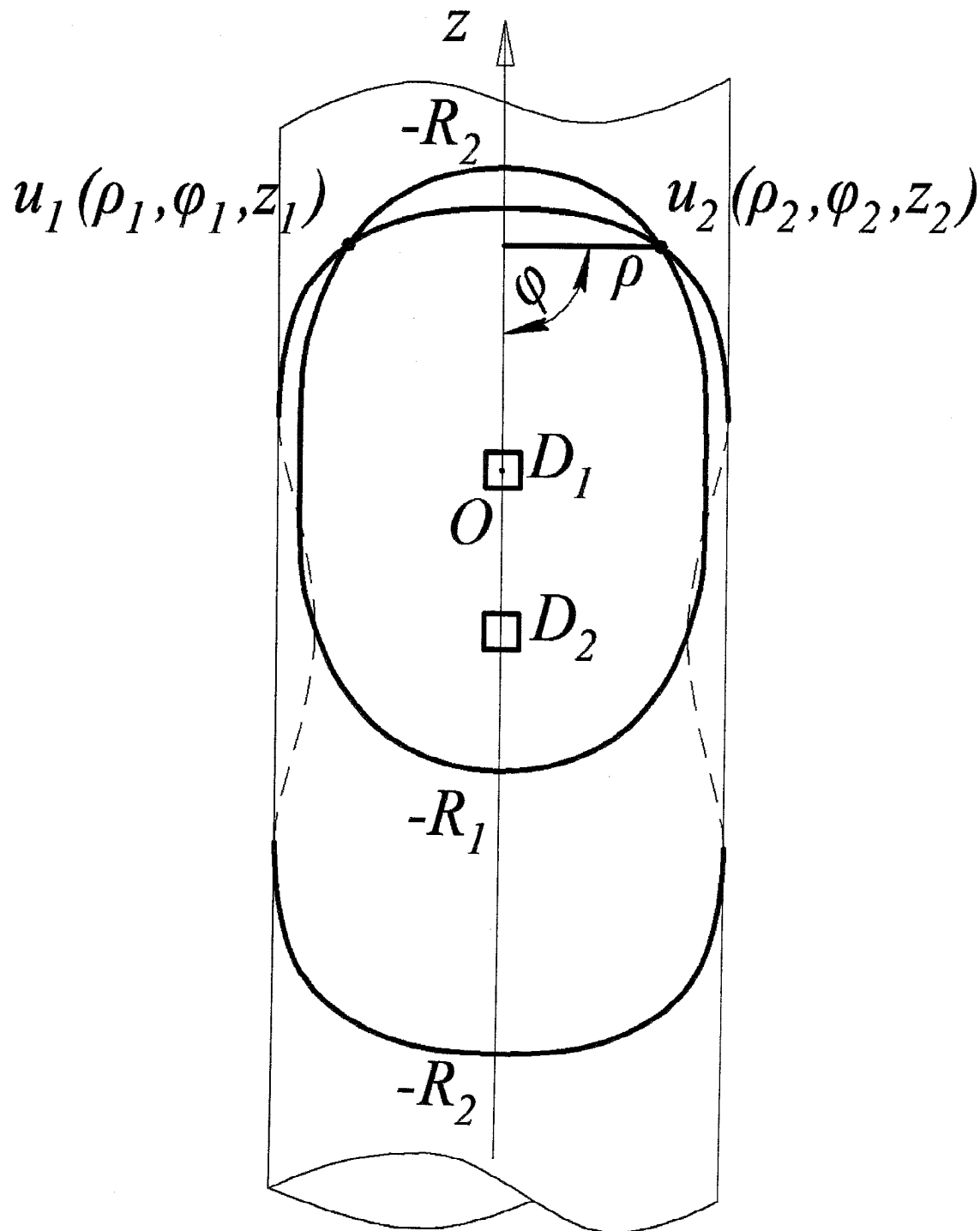


Фиг.1

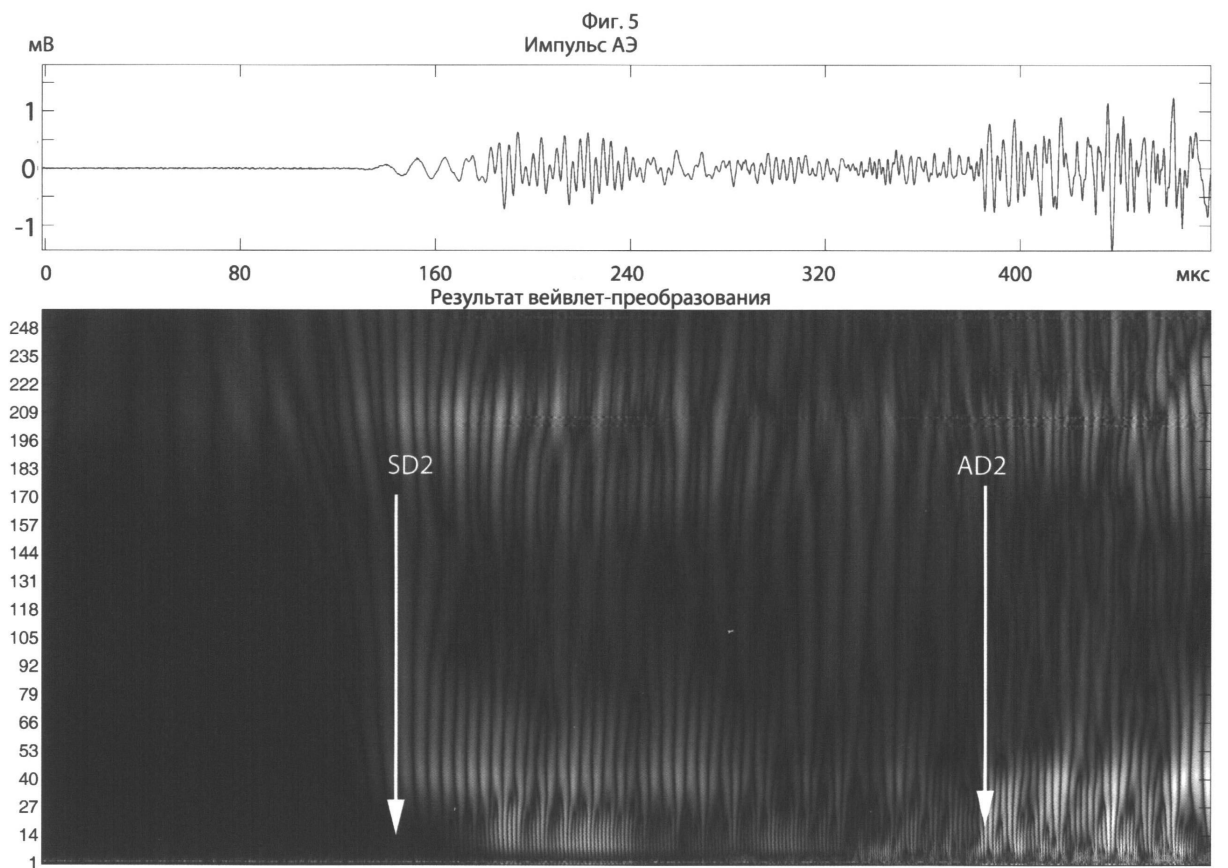
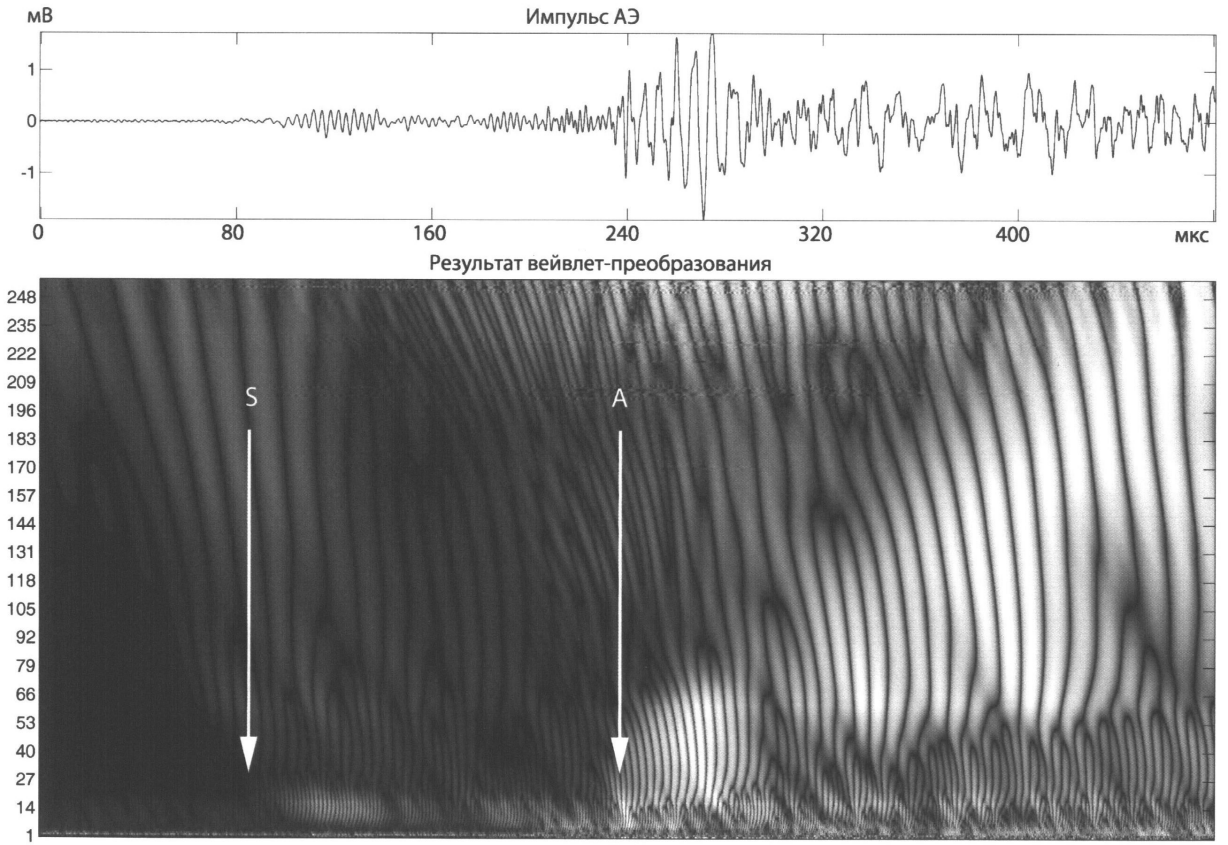




Фиг. 2



Фиг. 4



Фиг. 6