

# РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



## ПАТЕНТ

НА ИЗОБРЕТЕНИЕ

№ 2530659

### УЛЬТРАЗВУКОВОЙ ТОМОГРАФ

Патентообладатель(ли): **Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова" (RU)**

Автор(ы): **с.м. на обороте**

Заявка № 2012133935

Приоритет изобретения **08 августа 2012 г.**

Зарегистрировано в Государственном реестре изобретений Российской Федерации **14 августа 2014 г.**

Срок действия патента истекает **08 августа 2032 г.**

Врио руководителя Федеральной службы  
по интеллектуальной собственности

Л.Л. Кирий



Автор(ы): **Буров Валентин Андреевич (RU), Шмелёв Андрей Александрович (RU), Евтухов Семен Николаевич (RU), Крюков Роман Вячеславович (RU), Зотов Дмитрий Игоревич (RU), Раттэль Михаил Иванович (RU), Бобов Кирилл Николаевич (RU), Румянцева Ольга Дмитриевна (RU)**



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА  
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

# (12) ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

(21)(22) Заявка: 2012133935/14, 08.08.2012

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:  
08.08.2012

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 08.08.2012

(43) Дата публикации заявки: 20.02.2014 Бюл. № 5

(45) Опубликовано: 10.10.2014 Бюл. № 28

(56) Список документов, цитированных в отчете о поиске: EP 1103222 A2, 30.05.2001. RU 2145797 C1, 27.02.2000. JPH 06189973 A, 12.07.1994. US 2011263986 A1, 27.10.2011. US 2009275836 A1, 05.11.2009. US 2009264768 A1, 22.10.2009. EA 5391 B1, 24.02.2005. RU 2103920 C1, 10.02.1998

Адрес для переписки:

125009, Москва, Средний Кисловский пер., 7/10,  
кв.26, пат.пов. А.С. Попову, рег. N 694

(72) Автор(ы):

Буров Валентин Андреевич (RU),  
Шмелёв Андрей Александрович (RU),  
Евтухов Семен Николаевич (RU),  
Крюков Роман Вячеславович (RU),  
Зотов Дмитрий Игоревич (RU),  
Раттэль Михаил Иванович (RU),  
Бобов Кирилл Николаевич (RU),  
Румянцева Ольга Дмитриевна (RU)

(73) Патентообладатель(и):

Федеральное государственное бюджетное  
образовательное учреждение высшего  
профессионального образования  
"Московский государственный университет  
имени М.В. Ломоносова" (RU)

RU

2 530 659

C2

## (54) УЛЬТРАЗВУКОВОЙ ТОМОГРАФ

### (57) Формула изобретения

1. Ультразвуковой томограф, содержащий приемно-излучающее устройство, включающее излучающие и, по меньшей мере, один приемный цилиндрические пьезопреобразователи, блок усилителей излучаемых сигналов, усилитель принимаемого сигнала, цифроаналоговый и аналого-цифровой преобразователи, запоминающее устройство, блок анализа принятого сигнала и томографического отображения с дисплеем, отличающийся тем, что приемно-излучающее устройство дополнительно содержит расположенные вертикально и друг над другом нижнее малое акустическое зеркало с внешней отражающей поверхностью и верхнее большое акустическое зеркало с внутренней отражающей поверхностью, выполненные в виде соосных усеченных конусов с одинаковыми углом конусности и высотой и различными средними радиусами отражающих поверхностей, при этом, по меньшей мере, два излучающих цилиндрических пьезопреобразователя и, по меньшей мере, один приемный цилиндрический пьезопреобразователь выполнены с высотой  $0,8 \div 0,9$  от высоты из акустического зеркала, установлены на уровне нижнего малого акустического зеркала, а их продольные оси расположены вертикально и размещены по окружности с центром на оси акустических зеркал и радиусом R, определяемым по соотношению:

$$R=(0,8\div 1,2)\frac{R_{\text{Б}} R_{\text{М}}}{2(R_{\text{Б}} - R_{\text{М}})},$$

где  $R_{\text{М}}$  - средний радиус отражающей поверхности нижнего малого конического акустического зеркала;

$R_{\text{Б}}$  - средний радиус отражающей поверхности верхнего большого конического акустического зеркала,

причем излучающие цилиндрические пьезопреобразователи подключены через блок усилителей, блок фильтров и цифроаналоговый преобразователь к блоку цифровой генерации излучаемых сигналов, а приемный пьезопреобразователь подключен через фильтр принимаемого сигнала, усилитель и аналого-цифровой преобразователь к блоку анализа принятого сигнала и томографического отображения, к второму входу которого подключен выход блока цифровой генерации излучаемых сигналов.

2. Ультразвуковой томограф по п.1, отличающийся тем, что высота конических акустических зеркал составляет  $15\div 25$  мм, а угол конусности равен  $15\div 25^\circ$ .

3. Ультразвуковой томограф по п.1, отличающийся тем, что излучающие и приемный цилиндрические пьезопреобразователи выполнены с диаметром  $10\div 20$  мм и углом раскрыва активной зоны  $70\div 95^\circ$ .

4. Ультразвуковой томограф по п.1, отличающийся тем, что угол между осями диаграммы направленностей для каждой пары соседних цилиндрических пьезопреобразователей лежит в пределах от  $30^\circ$  до  $90^\circ$ .



**ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА  
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ**

**(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ**(21)(22) Заявка: **2012133935/14**, 08.08.2012(24) Дата начала отсчета срока действия патента:  
**08.08.2012**

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: **08.08.2012**(43) Дата публикации заявки: **20.02.2014** Бюл. № 5(45) Опубликовано: **10.10.2014** Бюл. № 28

(56) Список документов, цитированных в отчете о поиске: EP 1103222 A2, 30.05.2001. RU 2145797 C1, 27.02.2000. JPH 06189973 A, 12.07.1994. US 2011263986 A1, 27.10.2011. US 2009275836 A1, 05.11.2009. US 2009264768 A1, 22.10.2009. EA 5391 B1, 24.02.2005. RU 2103920 C1, 10.02.1998

Адрес для переписки:

**125009, Москва, Средний Кисловский пер., 7/10,  
кв.26, пат.пов. А.С. Попову, рег.№ 694**

(72) Автор(ы):

**Буров Валентин Андреевич (RU),  
Шмелёв Андрей Александрович (RU),  
Евтухов Семен Николаевич (RU),  
Крюков Роман Вячеславович (RU),  
Зотов Дмитрий Игоревич (RU),  
Раттэль Михаил Иванович (RU),  
Бобов Кирилл Николаевич (RU),  
Румянцева Ольга Дмитриевна (RU)**

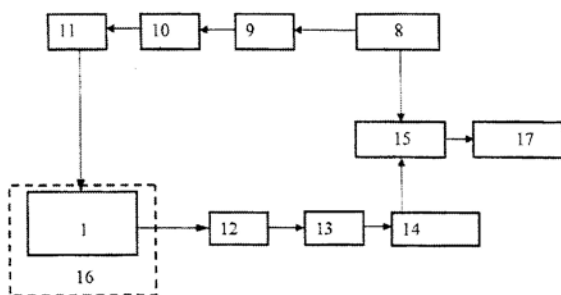
(73) Патентообладатель(и):

**Федеральное государственное бюджетное  
образовательное учреждение высшего  
профессионального образования  
"Московский государственный университет  
имени М.В. Ломоносова" (RU)****(54) УЛЬТРАЗВУКОВОЙ ТОМОГРАФ**

(57) Реферат:

Изобретение относится к области медицинской диагностики и направлено на создание ультразвукового нелинейного томографа, содержащего малое количество приемных и излучающих преобразователей, преимущественно для маммографии, дефектоскопии и неразрушающего контроля различных объектов. Ультразвуковой томограф включает приемно-излучающее устройство с приемноизлучающими пьезопреобразователями, к входу которого подключен канал формирования излучаемых сигналов, а к выходу - канал анализа принятых сигналов. Приемно-излучающее устройство содержит, по меньшей мере, два излучающих цилиндрических пьезопреобразователя с широкой полосой излучаемых кодированных сигналов и, по меньшей мере, один приемный цилиндрической пьезопреобразователь с широкой полосой

принимаемого сигнала, продольная ось которых расположена вертикально, и систему акустических зеркал, включающую вертикально расположенные друг над другом нижнее малое акустическое зеркало и верхнее большое акустическое зеркало, которые выполнены в виде соосных усеченных конусов с одинаковыми углом конусности и высотой и различным средним радиусом. Излучающие и приемный пьезопреобразователи установлены на уровне нижнего малого акустического зеркала, а их высота составляет 0,8÷0,9 от высоты каждого из акустических зеркал. Использование изобретения позволяет повысить разрешающую способность восстановления изображения внутренних структур мягких тканей при уменьшении количества преобразователей. 3 з.п. ф-лы, 3 ил.



Фиг. 1

Изобретение относится к области медицинской диагностики и направлено на создание ультразвукового нелинейного томографа, содержащего малое количество приемных и излучающих преобразователей, преобразующих электрическую энергию в акустическую, который предназначен как для визуализации внутренней структуры мягких тканей организма, преимущественно для маммографии, так и для дефектоскопии и неразрушающего контроля различных объектов.

Из уровня техники известно устройство для получения двумерных акустических изображений "по слоям" - ультразвуковой томограф, содержащий последовательно соединенные приемоизлучатель, блок усиления и коммутации, аналого-цифровой преобразователь, блок обработки информации, включающий запоминающие и суммирующие устройства, и устройство отображения - визуализации (RU 2002451 C1, A61B 8/14, 1993). Основным недостатком данного решения является использование одного общего преобразователя для излучения и приема, что требует постоянного его перемещения и усложняет конструкцию томографа.

Кроме того, известен ультразвуковой томограф, содержащий последовательно соединенные антенную решетку из приемоизлучающих пьезопреобразователей, которую размещают в ванне с иммерсионной жидкостью, многоканальный приемопередающий блок и аналого-цифровой преобразователь, блок усиления, блок преобразования и отображения на базе цифрового компьютера, запрограммированный на выполнение преобразования Фурье (US 5305752 A1, A61B 8/00, 1994). При этом антенная решетка состоит из большого количества пьезопреобразователей, соединенных с электронным блоком через многоступенчатый коммутатор, что существенно усложняет всю схему и вносит дополнительные помехи.

Также известен ультразвуковой томограф, содержащий приемно-излучающее устройство, включающее излучающие и, по меньшей мере, один приемный цилиндрические пьезопреобразователи, блок усилителей излучаемых сигналов, усилитель принимаемого сигнала, цифроаналоговый и аналого-цифровой преобразователи, запоминающее устройство, блок анализа принятого сигнала и томографического отображения с дисплеем, (RU 2145797 C1, A61B 8/08, 2000). При этом для снижения количества приемоизлучающих преобразователей данный томограф снабжен поворотным столом с программным управлением, что усложняет конструкцию и увеличивает массогабаритные характеристики томографа.

Технический результат, на получение которого направлено изобретение, заключается в создании компактной конструкции ультразвукового томографа, работающего на принципе нелинейного взаимодействия двух или трех неколлинеарных ультразвуковых волн, обеспечивающего высокую разрешающую способность восстановления и визуализации преимущественно внутренней структуры мягких биологических тканей и внутренних дефектов различных объектов с низким уровнем шумов и помех, ухудшающих изображение, при существенном уменьшении количества приемоизлучающих электроакустических преобразователей, преобразующих электрическую энергию в акустическую.

Решение поставленной задачи с достижением заявленного результата обеспечивается тем, что в ультразвуковом томографе, содержащем приемно-излучающее устройство, включающее излучающие и, по меньшей мере, один приемный цилиндрические пьезопреобразователи, блок усилителей излучаемых сигналов, усилитель принимаемого сигнала, цифроаналоговый и аналого-цифровой преобразователи, запоминающее устройство, блок анализа принятого сигнала и томографического отображения с дисплеем, согласно изобретению приемно-излучающее устройство дополнительно

содержит расположенные вертикально и друг над другом нижнее малое акустическое зеркало с внешней отражающей поверхностью и верхнее большое акустическое зеркало с внутренней отражающей поверхностью, выполненные в виде соосных усеченных конусов с одинаковыми углом конусности и высотой и различными средними радиусами  
 5 отражающих поверхностей, при этом, по меньшей мере, два излучающих цилиндрических пьезопреобразователя и, по меньшей мере, один приемный цилиндрический пьезопреобразователь выполнены с высотой  $0,8 \div 0,9$  от высоты из акустического зеркала, установлены на уровне нижнего малого акустического зеркала, а их продольные оси расположены вертикально и размещены по окружности с центром на оси акустических  
 10 зеркал и радиусом  $R$ , определяемым по соотношению:

$$R = (0,8 \div 1,2) \frac{R_B R_M}{2(R_B - R_M)},$$

где  $R_M$  - средний радиус отражающей поверхности нижнего малого конического  
 15 акустического зеркала;

$R_B$  - средний радиус отражающей поверхности верхнего большого конического акустического зеркала,

причем излучающие цилиндрические пьезопреобразователи подключены через блок усилителей, блок фильтров и цифро-аналоговый преобразователь к блоку цифровой  
 20 генерации излучаемых сигналов, а приемный пьезопреобразователь подключен через фильтр принимаемого сигнала, усилитель и аналого-цифровой преобразователь к блоку анализа принятого сигнала и томографического отображения, к второму входу которого подключен выход блока цифровой генерации излучаемых сигналов.

Кроме того, высота конических акустических зеркал составляет  $15 \div 25$  мм, а угол конусности равен  $15 \div 25^\circ$ .  
 25

Предпочтительно излучающие и приемный цилиндрические пьезопреобразователи выполнены с диаметром  $10 \div 20$  мм и углом раскрытия активной зоны  $70 \div 95^\circ$ .

При этом что угол между осями диаграммы направленностей для каждой пары соседних цилиндрических пьезопреобразователей лежит в пределах от  $30^\circ$  до  $90^\circ$ .

30 Заявленное использование в приемно-излучающем устройстве, по меньшей мере, двух излучающих цилиндрических пьезопреобразователей с широкой полосой излучаемых кодированных ультразвуковых сигналов сложной заданной формы (ширина частотной полосы составляет  $0,3 \div 1,0$  октавы) и, по меньшей мере, одного приемного цилиндрического пьезопреобразователя с широкой полосой принимаемого сигнала в  
 35 сочетании с системой вертикально расположенных конических акустических зеркал, которые обеспечивают формирование ультразвукового плоского пучка ультразвуковых волн первичного облучения с шириной, перекрывающей линейный размер томографируемого двумерного сечения органа, при заявленной схеме расположения излучающих и приемного цилиндрических пьезопреобразователей реализует принцип  
 40 нелинейного взаимодействия двух неколлинеарных ультразвуковых волн, обеспечивает возможность регистрации ультразвукового рассеянного в томографируемом объекте (преимущественно в биологической ткани) поля, порожденного изменениями нелинейного параметра объекта (нелинейный параметр - это величина, характеризующая свойство среды, в которой распространяются ультразвуковые волны, генерировать  
 45 нелинейно рассеянную вторичную ультразвуковую волну на частотах, отличных от частот первичных волн) и несущего информацию об изменении величины нелинейного параметра второго порядка, что при существенном уменьшении количества и геометрических размеров приемоизлучающих электроакустических

пьезопреобразователей позволяет получить на экране дисплея персонального компьютера высококачественную двумерную картину количественного распределения изменений нелинейного параметра второго порядка в виде участков объекта с различной яркостью. При наличии третьего излучающего цилиндрического пьезопреобразователя

5 монохроматического или широкополосного ультразвукового сигнала реализуется принцип нелинейного взаимодействия трехнеколлинеарных ультразвуковых волн и за счет этого обеспечивается возможность регистрации ультразвукового рассеянного в томографируемом объекте поля, порожденного полными значениями нелинейных параметров объекта и несущего информацию о полной величине нелинейных параметров

10 второго и третьего порядка, что позволяет получить на экране дисплея двумерную картину количественного распределения численных значений нелинейных параметров в виде участков с различной яркостью, характеризующих внутреннюю структуру органов (например, мягких биологических тканей) или дефектов исследуемого объекта при неразрушающем контроле. При этом экспериментально определенное заявленное

15 соотношение геометрических параметров цилиндрических электроакустических излучающих и приемного преобразователей и системы акустических зеркал, и их взаимное расположение является оптимальным и обеспечивает эффективное проведение процесса томографии различных объектов (шириной до 25 см и высотой до 25 мм), преимущественно маммографии, с высокой разрешающей способностью (0,5÷2,0 мм)

20 и низким уровнем шумов и помех.

На Фиг.1 представлена блок-схема ультразвукового томографа; на Фиг.2 - схема приемно-излучающего устройства, акустические зеркала, вид сбоку; на Фиг.3 - схема приемно-излучающего устройства, акустические зеркала, вид в плане.

Ультразвуковой томограф содержит приемно-излучающее устройство 1, включающее,

25 по меньшей мере, два вертикально установленных излучающих цилиндрических пьезопреобразователя 2 и 3, преобразующих электрическую энергию в акустическую (электрические сигналы в акустические ультразвуковые импульсы излучения), с широкой полосой излучаемых кодированных сигналов - импульсов излучения и, по меньшей мере, один вертикально установленный приемный цилиндрический пьезопреобразователь

30 4, преобразующий акустическую энергию в электрическую (нелинейно рассеянную вторичную ультразвуковую волну в эквивалентный электрический сигнал), с широкой полосой принимаемого сигнала, продольная ось которых расположена вертикально, и систему акустических зеркал, включающую вертикально расположенные друг над другом нижнее малое акустическое зеркало 5 с внешней рабочей отражающей

35 поверхностью и средним радиусом  $R_M=65\div95$  мм и верхнее большое акустическое зеркало 6 с внутренней рабочей отражающей поверхностью и средним радиусом  $R_B=100\div160$  мм. При этом нижнее малое акустическое зеркало 5 и верхнее большое акустическое зеркало 6 выполнены в виде соосных усеченных конусов с одинаковыми углом конусности « $\theta$ », составляющим  $15\div25^\circ$ , и высотой «Н», которая составляет  $15\div25$

40 мм, что обеспечивает за счет двух последовательных акустических отражений ультразвуковых волн, излучаемых излучающими цилиндрическими пьезопреобразователя 2 и 3, от нижнего малого акустического зеркала 5 и от верхнего большого акустического фокусирующего зеркала 6 создание в зоне томографирования ультразвукового пучка первичного облучения малой толщины (до 20 мм) с плоским волновым фронтом, имеющим в горизонтальном направлении ширину до 25 см в пределах всего исследуемого объекта, и формирование после аналогичного двукратного

45 отражения от верхнего большого акустического зеркала 6 и от нижнего малого акустического зеркала 5 регистрируемого ультразвукового сигнала, который поступает

на приемный цилиндрический пьезопреобразователь 4.

Кроме того, приемно-излучающее устройство 1 дополнительно содержит, по меньшей мере, один вертикально установленный излучающий цилиндрический пьезопреобразователь 7, создающий монохроматический или широкополосный  
 5 ультразвуковой сигнал. При этом излучающие и приемный пьезопреобразователи 2, 3, 7 и 4 установлены на уровне нижнего малого акустического зеркала 5, причем продольные оси пьезопреобразователей 2, 3, 7 и 4 размещены параллельно оси акустических зеркал 5 и 6 на окружности, центр которой расположен на оси акустических  
 10 зеркал 5 и 6, а радиус R которой определяется по соотношению:

$$R = (0,8 \div 1,2) \frac{R_B R_M}{2(R_B - R_M)},$$

где R - радиус окружности, на которой размещены продольные оси цилиндрических пьезопреобразователей;

15  $R_M$  - средний радиус отражающей поверхности нижнего малого конического акустического зеркала 5 ( $R_M = 65 \div 95$  мм);

$R_B$  - средний радиус отражающей поверхности верхнего большого конического акустического зеркала 6 ( $R_B = 100 \div 160$  мм).

20 При этом цилиндрические пьезопреобразователи 2, 3, 7 и 4 выполнены с диаметром  $10 \div 20$  мм и углом раскрытия активной зоны  $70 \div 95^\circ$ , а их высота «h» составляет  $0,8 \div 0,9$  от высоты «H» каждого из акустических зеркал 5 и 6.

Кроме того, угол между осями диаграммы направленностей для каждой пары соседних пьезопреобразователей (2-4; 4-7; 7-3) лежит в пределах от  $30^\circ$  до  $90^\circ$ .

25 В качестве цилиндрических излучающих пьезопреобразователей 2, 3, 7 (преобразующих электрическую энергию в акустическую) и цилиндрического приемного пьезопреобразователя 4 (преобразующего акустическую энергию в электрическую) могут быть использованы пьезокерамические преобразователи (типа: ЦТС, т.е. цирконат-титанат свинца, или ЦТБС, т.е. цирконат-титанат бария свинца).

30 К входу приемно-излучающего устройства 1 подключен канал формирования излучаемых сигналов, который содержит последовательно электрически включенные блок 8 цифровой генерации излучаемых сигналов, цифро-аналоговый преобразователь 9, блок 10 фильтров излучаемых сигналов, блок 11 усилителей излучаемых сигналов, выход которых подключен к цилиндрическим излучающим пьезопреобразователям 2, 3 и 7 приемно-излучающего устройства 1, при этом к выходу приемно-излучающего  
 35 устройства 1 подключен канал анализа принятых сигналов, который содержит последовательно электрически включенные фильтр 12 принимаемого сигнала, вход которого подключен к приемному цилиндрическому пьезопреобразователю 4, усилитель 13 принимаемого сигнала, аналого-цифровой преобразователь и запоминающее  
 40 устройство 14, блок 15 анализа принятого сигнала и томографического отображения, к второму входу которого подключен выход блока 8 цифровой генерации излучаемых сигналов.

Приемно-излучающее устройство 1 размещают в ванне 16, заполненной иммерсионной жидкостью, плотность которой соответствует средней плотности  
 45 исследуемого объекта, например водой.

Блок цифровой генерации излучаемых сигналов 8 конструктивно объединен с цифроаналоговым преобразователем 9 и включает микросхемы семейства программируемой логики Altera MAX, которая создает цифровые кодированные широкополосные модулированные сигналы, различные для каждого широкополосного

излучателя. Фильтры блока 10 излучаемых сигналов собраны на дискретных элементах (катушки индуктивности, конденсаторы) в виде многокаскадной пассивной схемы.

Усилители излучаемых сигналов блока 11 собраны на дискретных элементах электроники - микросхемах, выходных транзисторах, выходных согласующих

- 5 трансформаторах. Фильтр 12 принимаемого сигнала собран из нескольких каскадов полосовых фильтров М-типа. Усилитель 13 принимаемого сигнала собран на малошумящих операционных усилителях. Аналого-цифровой преобразователь и запоминающее устройство 14 реализованы таким образом, что данные с аналого-цифрового преобразователя, входящего в состав многофункциональной платы сбора-вывода данных NI рхi-6115, передаются в режиме реального времени на жесткий диск персонального компьютера, используемого в качестве запоминающего устройства. Блок анализа принятого сигнала и томографического отображения 15 реализован с помощью персонального компьютера, который усилен сопроцессором TESLA C1060, использующем технологию CUDA. При этом для отображения распределения нелинейного параметра и итогового томографического отображения используют дисплей 17 персонального компьютера.

Заявленный ультразвуковой томограф работает следующим образом.

- Томографируемый орган, например, для проведения ранней диагностики доброкачественных и злокачественных новообразований мягких биологических тканей помещают в рабочую зону приемно-излучающего устройства 1, размещенного в ванне 16 с иммерсионной жидкостью. Блок цифровой генерации излучаемых сигналов 8 формирует кодированные во времени цифровые широкополосные сигналы заранее известной сложной формы, с шириной частотной полосы  $0.3 \div 1,0$  октавы, например, модулированные сигналы в виде бинарной псевдослучайной фазовой последовательности  $\{0; \pi\}$ , различной для каждого из широкополосных излучающих цилиндрических преобразователей 2, 3 и 7 (или монохроматический сигнал для излучающего пьезопреобразователя 7), которые преобразуются в аналоговый сигнал с помощью цифро-аналогового преобразователя 9, подвергаются частотной фильтрации с помощью фильтров излучаемых сигналов 10, усиливаются с помощью усилителей излучаемых сигналов 11 и подаются на излучающие цилиндрические электроакустические пьезопреобразователи 2, 3 и 7 приемно-излучающего устройства 1, которые генерируют ультразвуковые сигналы-импульсы, направленные на томографируемый орган (исследуемый объект). При этом волновое поле от каждого излучающего цилиндрического пьезопреобразователя 2, 3 и 7 после акустического отражения от нижнего малого конического акустического зеркала 5, попадая на верхнее большое коническое акустическое фокусирующее зеркало 6, создает ультразвуковой пучок с плоским волновым фронтом, имеющим в горизонтальном направлении ширину  $15 \div 25$  см в пределах всего томографируемого органа (исследуемого объекта). После аналогичного, но обратного, двукратного отражения от верхнего большого акустического зеркала 6 и от нижнего малого акустического зеркала 5 происходит попадание рассеянного томографируемым органом (исследуемым объектом) акустического сигнала на приемный цилиндрический пьезопреобразователь 4.

- Приемный цилиндрический пьезопреобразователь 4 настроен на регистрацию сигнала  $s_R(t)$ , нелинейно рассеянного от всего томографируемого органа (прошедшего через исследуемый орган). Для медицинской диагностики мягких биологических тканей (например, для ультразвуковой маммографии) значения рабочих частот излучаемых широкополосных сигналов и принимаемого сигнала, предпочтительно, должны лежать в диапазоне  $0,7 \div 3,0$  МГц (частота монохроматического сигнала может, например,

составлять 2,2 МГц).

Принимаемый от томографируемого органа приемным цилиндрическим пьезопреобразователем 4 рассеянный сигнал  $s_R(t)$  на комбинационных частотах (комбинационные частоты представляют собой суммарные или разностные комбинации частот излучаемых сигналов) после предварительной аналоговой фильтрации в фильтре 12 принимаемого сигнала и усиления в усилителе 13 принимаемого сигнала подается на аналогово-цифровой преобразователь с запоминающим устройством 14 и далее с запоминающего устройства 14 подается на блок анализа принятых сигналов и томографического отображения 15. Одновременно на блок анализа принятых сигналов и томографического отображения 15 подаются все излучаемые сигналы с блока цифровой генерации излучаемых сигналов 8, на основании которых синтезируется сигнал сравнения, пропорциональный произведению:

$$s_8(t) \sim s_1(t - \tau_{del}) \times s_2(t - \tau_{del} + \Delta t),$$

где  $s_8(t)$  - сигнал сравнения;

$s_1(t)$ ,  $s_2(t)$  - два первичных кодированных сигнала в момент времени  $t$  с учетом их искажений в приемно-излучающем тракте;

$\Delta t$  - взаимный временной сдвиг между этими сигналами;

$\tau_{del}$  - задержка времени приема рассеянного сигнала относительно времени излучения первого сигнала, причем паре значений  $(\Delta t, \tau_{del})$  однозначно сопоставляется точка с координатами  $(x, y)$  восстанавливаемого двумерного распределения нелинейного параметра.

При этом в блоке анализа принятых сигналов и томографического отображения 15 осуществляется взаимно-корреляционное сравнение принятого сигнала  $s_R(t)$  с сигналом сравнения  $s_8(t)$  (использующее быстрое преобразование Фурье), что позволяет получить на экране дисплея 17 двумерную картину количественного (при наличии предварительной тарировки-калибровки степени яркости) распределения изменений нелинейного параметра второго порядка в виде участков исследуемого органа с различной яркостью. При наличии третьего излучающего плоского электроакустического преобразователя 5 монохроматического или широкополосного ультразвукового сигнала обеспечивается возможность регистрации ультразвукового рассеянного в томографируемом органе поля, порожденного полными значениями нелинейных параметров исследуемого органа и несущего информацию о полной величине нелинейных параметров второго и третьего порядка, что позволяет получить на экране дисплея 17 двумерную картину количественного (при наличии предварительной тарировки-калибровки степени яркости) распределения численных значений нелинейных параметров второго и третьего порядка в виде участков с различной яркостью, отображающих внутреннюю структуру исследуемого органа (например, мягких биологических тканей) с высокой разрешающей способностью (0,5÷2,0 мм).

Кроме того, заявленное аппаратурное выполнение ультразвукового томографа с цилиндрическими преобразователями 2, 3, 4 и 7 приемно-излучающего устройства 1, реализующего процесс нелинейного томографирования второго или третьего порядков, обеспечивает возможность получения на основе тех же экспериментальных данных в виде принятых нелинейно рассеянных сигналов на комбинационных частотах, используемых для формирования томографических изображений распределения нелинейных параметров исследуемого органа, общей картины кровоснабжения органа,

а также направления и величины скорости кровотока по восстановленной сети кровеносных сосудов.

#### Формула изобретения

1. Ультразвуковой томограф, содержащий приемно-излучающее устройство, включающее излучающие и, по меньшей мере, один приемный цилиндрические пьезопреобразователи, блок усилителей излучаемых сигналов, усилитель принимаемого сигнала, цифроаналоговый и аналого-цифровой преобразователи, запоминающее устройство, блок анализа принятого сигнала и томографического отображения с дисплеем, отличающийся тем, что приемно-излучающее устройство дополнительно содержит расположенные вертикально и друг над другом нижнее малое акустическое зеркало с внешней отражающей поверхностью и верхнее большое акустическое зеркало с внутренней отражающей поверхностью, выполненные в виде соосных усеченных конусов с одинаковыми углом конусности и высотой и различными средними радиусами отражающих поверхностей, при этом, по меньшей мере, два излучающих цилиндрических пьезопреобразователя и, по меньшей мере, один приемный цилиндрический пьезопреобразователь выполнены с высотой  $0,8 \div 0,9$  от высоты из акустического зеркала, установлены на уровне нижнего малого акустического зеркала, а их продольные оси расположены вертикально и размещены по окружности с центром на оси акустических зеркал и радиусом  $R$ , определяемым по соотношению:

$$R = (0,8 \div 1,2) \frac{R_B R_M}{2(R_B - R_M)},$$

где  $R_M$  - средний радиус отражающей поверхности нижнего малого конического акустического зеркала;

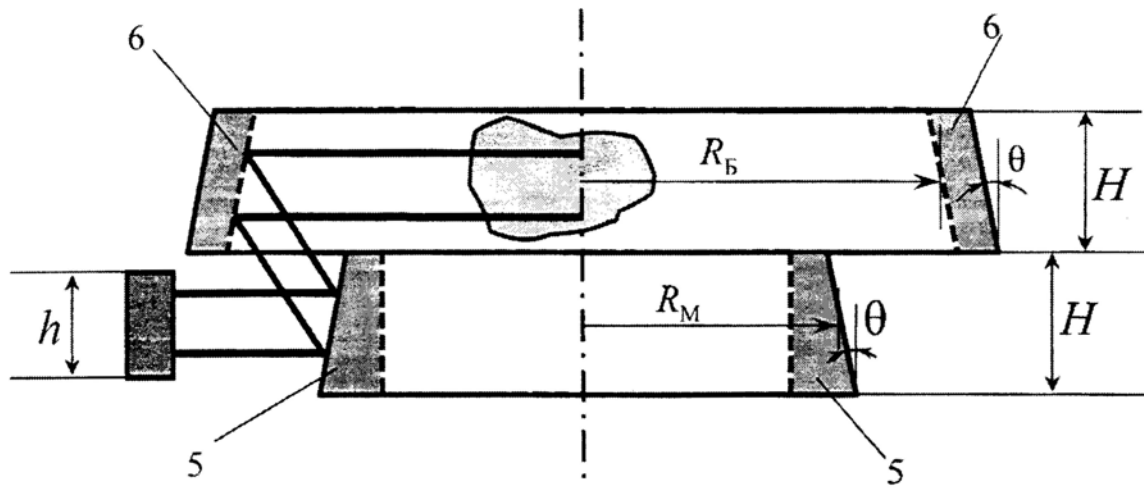
$R_B$  - средний радиус отражающей поверхности верхнего большого конического акустического зеркала,

причем излучающие цилиндрические пьезопреобразователи подключены через блок усилителей, блок фильтров и цифроаналоговый преобразователь к блоку цифровой генерации излучаемых сигналов, а приемный пьезопреобразователь подключен через фильтр принимаемого сигнала, усилитель и аналого-цифровой преобразователь к блоку анализа принятого сигнала и томографического отображения, к второму входу которого подключен выход блока цифровой генерации излучаемых сигналов.

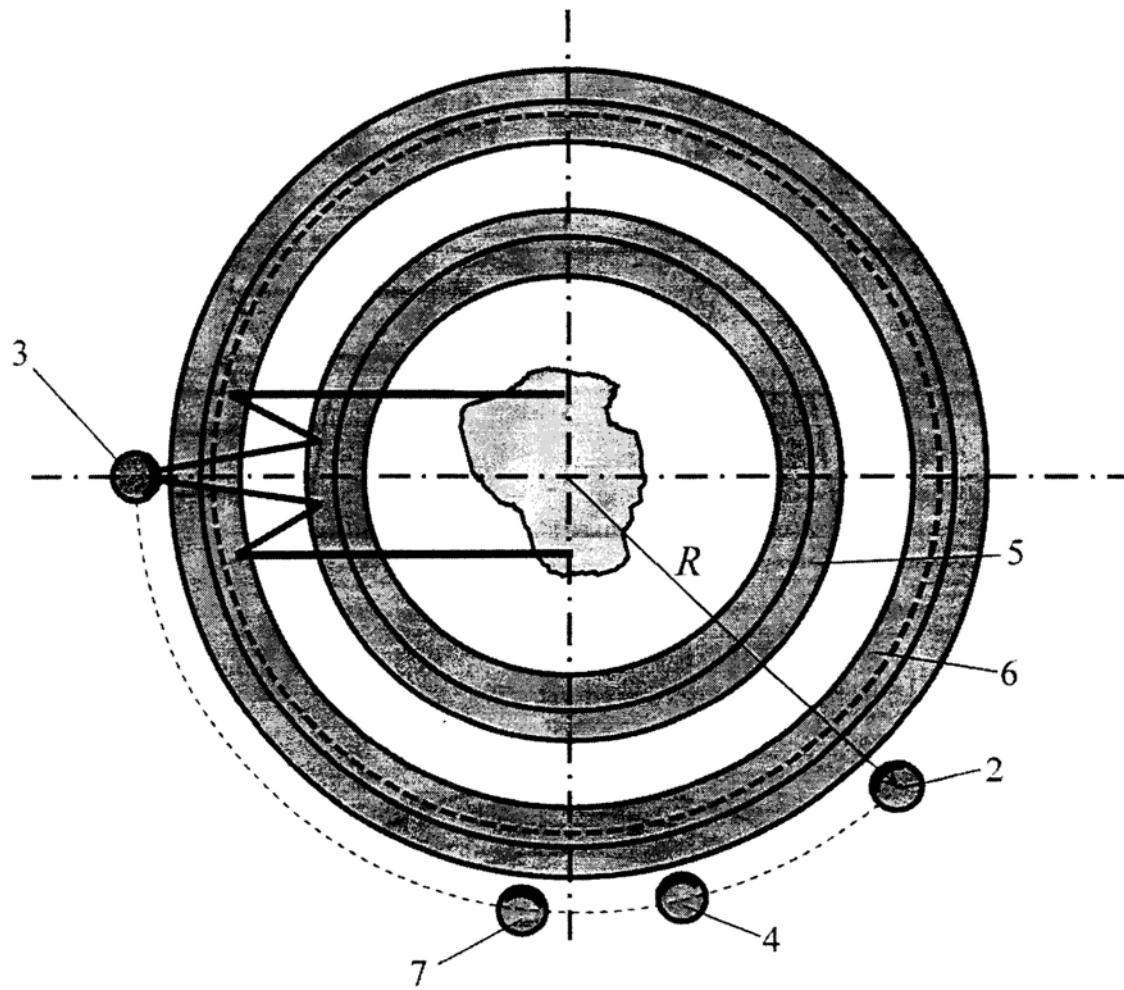
2. Ультразвуковой томограф по п.1, отличающийся тем, что высота конических акустических зеркал составляет  $15 \div 25$  мм, а угол конусности равен  $15 \div 25^\circ$ .

3. Ультразвуковой томограф по п.1, отличающийся тем, что излучающие и приемный цилиндрические пьезопреобразователи выполнены с диаметром  $10 \div 20$  мм и углом раскрытия активной зоны  $70 \div 95^\circ$ .

4. Ультразвуковой томограф по п.1, отличающийся тем, что угол между осями диаграммы направленностей для каждой пары соседних цилиндрических пьезопреобразователей лежит в пределах от  $30^\circ$  до  $90^\circ$ .



Фиг. 2



Фиг. 3