

Евдокимов В.Ф., чл. корр. НАН Украины,
orcid.org/0000-0002-4337-8893

Огир Е.А., к.т.н.,
orcid.org/0000-0001-9623-399X

Душеба В.В., к.т.н.
orcid.org/0000-0002-8929-3625

КОМПЬЮТЕРНАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ФОРМИРОВАНИЯ АКУСТИЧЕСКИХ ИЗОБРАЖЕНИЙ ДЕФЕКТОВ СКАНИРУЕМОЙ СРЕДЫ С ВЫСОКОЙ ТОЧНОСТЬЮ

Институт проблем моделирования в энергетике им. Г.Е. Пухова НАН Украины

elenaogir@ipme.kiev.ua

Вступление

В публикациях [1,2] рассмотрены математические модели формирования акустических изображений дефектов материалов в системах дефектоскопии, использующих различный формат регистрируемых параметров волнового поля, отраженного неоднородностями зондируемого ультразвуковым (УЗ) лучом объекта контроля (ОК).

Для систем дефектоскопии, использующих при формировании изображений дефектов материалов исключительно амплитудное распространение поля отраженной волны характерно невысокое качество формируемых акустических изображений по пространственному и контрастному разделению, вследствие:

1) неоднозначности регистрируемых амплитудных параметров отраженного УЗ поля в зависимости от геометрического местоположения и формы дефекта

2) влияния сигналов-помех на адекватность акустических изображений, отображаемых в сигнале реальным дефектом, поскольку отображение контролируемого объема среды осуществляется по принципу мозаики с элементами различной яркости, определяемой эхосигналами от неоднородностей внутренней структуры (дефектов), так и аддитивными сигналами помех, имеющими реверберационную природу [1],

3) в различные эксплуатационные дефекты типа усталостных трещин в продольном и поперечном направлении сварного шва, растрескивания в объеме зон термовлияния, местная деградация микроструктуры стали и т.п. состоят из мелких неоднородностей, либо имеют мелкую шероховатую структуру. Подобные дефекты сильно рассеивают УЗ волны, поэтому амплитуда эхосигналов от них слабо отражает их размеры, форму и местоположение [3].

Следует поэтому признать, что традиционные методы контроля материалов по амплитудным параметрам эхосигналов недостаточно надежно выявляют и оценивают дефекты отмеченного типа.

По оценкам специалистов в области дефектоскопии материалов, создание современных систем формирования акустических изображений дефектов (неоднородностей) внутренней структуры материалов связано с использованием: когерентных и голографических методов на основе компьютерной обработки регистрируемых амплитудно-фазовых (фазовых) параметров волнового поля, рассеянного неоднородностями зондируемого объема материала [3,4], решетки пьезодатчиков с параллельной и одновременной регистрацией фазовых либо амплитудно-фазовых звуковых голограмм элементарных

объемов среды (материала), последовательно зондируемых звуковым импульсом в звуковом луче на линии сканирования [5,6]. И с применением в современных голографических системах цифровых методов постобработки сформированных акустических изображений, направленных на улучшение их пространственного, контрастного и временного разрешения.

Цель

Разработка и исследование новой компьютерной технологии формирования акустических изображений неоднородностей сканируемой среды с высоким разрешением и точностью.

Основная часть

Основными характеристиками качества ультразвуковых систем являются пространственная и контрастная разрешающая способность, помехоустойчивость, точность восстановления изображения. Улучшение перечисленных параметров ультразвуковых изображений и служит главной целью развития современных технологий в данной области. Классическими методами улучшения разрешающей способности являются увеличение частоты зондирующего импульса, совершенствование элементной базы, использование широкополосных зондирующих импульсов, кратных частот, и другие. Однако использование перечисленных методов имеет множество технических и методических ограничений. Так, например, скорость затухания ультразвука в среде пропорциональна квадрату частоты зондирующего импульса, что на практике ограничивает частоту зондирования в системах медицинского назначения величиной до 25 МГц.

Для достижения указанной цели были поставлены и решены следующие задачи:

- Модификация математической модели, структуры, аппаратных и программных средств голографической системы формирования акустических изображений высокого разрешения и точности

- Разработка специализированного вычислительного устройства для цифровой когерентной регистрации и обработки эхосигналов

- Создание программно-аппаратных средств улучшения изображений неоднородностей в реальном времени

- Разработка пакета программ для компьютерного моделирования процессов регистрации и формирования звуковой

- голограммы и реконструкции акустических изображений сканируемых объемов

- Исследование характеристик разрешающей способности, точности, надежности, помехоустойчивости проектируемой системы.

В целом, решение перечисленных задач позволяет создать эффективное алгоритмическое и аппаратно-программное инструментальное обеспечение для контрольно-диагностических систем сбора и обработки информации о неоднородностях (дефектах) среды или объекта. Методы исследования – вычислительные процедуры реконструкции акустических изображений по соответствующим голограммным описаниям базируются на основе алгоритмов обращения дискретной модели дифракционного интеграла Рэля-Зоммерфельда, на использовании методов спектрального анализа и цифровой обработки сигналов.

Использование в голографических методах формирования изображений в качестве основной информации пространственного распределения фазовых спектров эхосигналов в объектной плоскости и представляющей, собственно, фазовую звуковую голограмму, имеет значительное преимущество перед томографическими методами, основанными на регистрации усредненных по траектории амплитудных (энергетических) пространственных распределений вторичного волнового поля [4].

Фазовые спектры, регистрируемые в звуковой голограмме – это результат угловой модуляции тонального зондирующего сигнала, непосредственно отражающий изменения фазовой скорости прохождения зондирующего сигнала в среде, в отличие от усредненных интегральных характеристик коэффициента поглощения среды, которые являются информативными признаками томографических процессов.

Эксперименты в акустической голографии повторяют непосредственно эксперименты в оптической голографии с использованием квадратичных детекторов сигналов угловой модуляции и регистрацией интенсивности интерферирующих в плоскости голографирования объектной и опорной когерентных световых волн [4]. При этом для регистрации звуковой голограммы использовалась свободная поверхность жидкости, считывание звуковой голограммы осуществлялось сканированием поверхности лазерным лучом [6]. Такого типа эксперименты в звуковой голографии были сложными, дорогими, чувствительными к незначительным механическим вибрациям. Различия в длине волн звукового и оптического диапазонов в несколько порядков представляли дополнительные трудности при формировании звуковой голограммы и восстановлении изображений.

В целом, эти трудности могут быть объяснены отсутствием в природе сколько-нибудь подходящего “аналога фотоэмульсии” для регистрации звуковой голограммы и худшим соотношением апертур в акустике по отношению к апертурам в оптике, измеренных в соответствующих длинах волн.

Примеры применения физических голографических методов в медицине, биологии, неразрушающем контроле материалов отражены в трудах международных симпозиумов по акустической голографии, издаваемых с конца шестидесятых годов. Однако широкого распространения такие средства визуализации не получили ввиду отме-

ченных особенностей процессов регистрации звуковых голограмм и восстановления изображений. Физическим методам звуковой голографии присущи значительные фазовые aberrации, обусловленные сильной подверженностью механическим помехам, разрушающим поверхностные границы среды, на которой осуществляется регистрация голограмм с помощью когерентных волн.

В основе формирования акустических изображений методами цифровой акустической голографии лежат математические модели физических явлений дифракции и интерференции, присущие волновым процессам рассеяния и распространения ультразвуковых волн. В цифровой акустической голографии для формирования звуковой голограммы измерение амплитудно-фазовых пространственных спектров осуществляется линейными (одномерными) либо двумерными решетками с линейными детекторами синхронного детектирования в узлах решетки. При этом опорную волну можно имитировать, либо вообще отказаться от нее благодаря тому, что в акустике можно измерять мгновенные значения амплитуды и фазы в пределах одного периода колебания звуковой волны. Последовательное измерение в узлах решетки амплитуды и фазы можно осуществлять в моменты времени, определяемые реперными точками сигнала основной несущей частоты зондирующего сигнала, при этом должна быть обеспечена квазистационарность измерений: разность хода лучей от любой точки объектной плоскости до крайних точек измерительной апертуры должна быть меньше длины зондирующего импульса [5].

Таким образом, УЗ технология формирования акустических изображений реализует совокупность макроопераций следующего вида:

- 1) физического процесса зондирования и измерения амплитудно-фазовых (фазовых) параметров вторичного (отраженного) звукового поля,

2) компьютерного процесса формирования звуковой голограммы точечно-подобных источников на линии сканирования,

3) компьютерного вычислительного процесса обработки фазовых одномерных или двумерных массивов информации с целью фильтрации сигналов-помех и вторичных дифракционных максимумов.

Архитектура определяется в значительной степени требованиями воссоздания акустического изображения исследуемой среды в реальном времени. Особенностью фазовой звуковой голограммы является игнорирование в точках измерения амплитуды эхосигналов и измерение только фазы $\phi(x, y)$, при этом двумерная фазовая звуковая голограмма описывается пространственной функцией $e^{(-j\phi(x,y))}$, где $j = \sqrt{-1}$.

Уравнения скалярной теории дифракции представляют математическую основу для описания волнового поля в любой точке замкнутого, свободного от помех пространства через его значения на поверхности, замыкающей это пространство в некоторый объем.

Зависимость $U(\mathbf{P}, t)$ от времени известна и поэтому комплексная функция пространственных координат $U(\mathbf{P})$ является

$$U(x_0, y_0) = \iint_{-\infty}^{+\infty} h(x_0, y_0; x_1, y_1) \cdot U(x_1, y_1) dx_1 dy_1 \quad (2)$$

где x_0, y_0 – плоскость голограммы, x_1, y_1 – плоскость сечения звукового импульса.

Ограничения Кирхгофа-Френеля сформулированы ниже:

- Приближение Френеля-Фраунгофера области наблюдения и объектной области параллельными плоскостями с параллельными осями координат, соответственно x_0, y_0 и x_1, y_1 .

- Принцип Гюйгенса-Френеля о представлении произвольного источника объектной плоскости суммарной волной точечных источников.

$$h(x_0, y_0; x_1, y_1) = \frac{1}{j\lambda} \cdot \frac{e^{jKr_{01}}}{r_{01}} \cdot \text{Cos}(\vec{n}, \vec{r}_{01}) \quad (3)$$

Если допустить, что:

достаточным описанием волнового поля и должна удовлетворять волновому уравнению Гельмгольца:

$$(\nabla^2 + K^2) \cdot U = 0. \quad (1)$$

где $K = \frac{2\pi}{\lambda}$ – волновое число.

Аналитическое решение уравнения (1) может быть использовано для формулировки зависимости между полем комплексных амплитуд в плоскости голографирования и объектной плоскости. По аналогии с процессом дифракции света на отверстии в плоском непрозрачном экране, можно предположить, что первичное (падающее) возмущение в виде плоской (или близкой к таковой) волны, излучаемой линейной или плоской фазированной решеткой системы дефектоскопии, взаимодействует в объеме звукового импульса с неоднородностями зондируемой среды таким образом, что отраженная (вторичная) волна представляет собой интерферирующие между собой сферические волны, рассеянные точечно-подобными неоднородностями среды, расположенными внутри звукового импульса.

Решение этой задачи можно осуществить после проведения некоторых аппроксимаций исходного уравнения (2), с учетом ограничений Кирхгофа-Френеля.

- Граничные условия Кирхгофа $\pm\infty$ в интеграле (2) при условии отсутствия источников за границей объектной плоскости x_1, y_1 .

- Свойства линейности и изопланарности интеграла (2) с учетом пп. 1, 2, 3.

Пределы интегрирования $\pm\infty$ в (2) выбраны с учетом условий Кирхгофа о том, что за пределами плоскости сечения звукового импульса S возмущения $U(x_1, y_1)$ равны нулю. Весовая функция $h(x_0, y_0; x_1, y_1)$ записывается в виде:

и ограничить угол $(\bar{n}; \bar{r}_{01}) \ll 18^\circ$, то при этом возникающая погрешность h по амплитуде будет составлять не более 5%. При этом $\text{Cos}(\bar{n}, \bar{r}_{01}) \approx 1$.

В реальных условиях в системах ультразвукового контроля материалов условия (4) означают значительные ограничения на величину апертуры измерений $2 \cdot x_{0max}$, поскольку существуют физические ограничения на величину Z – глубину зондирования из-за значительного затухания высокочастотных компонент сигналов при распространении ультразвука на большие глубины Z . Эти ограничения неприемлемы, так как снижают поперечную разрешающую способность системы эхоскопии. Если представить, что объектная плоскость S является аналогом дифракционного отверстия $S_d.o.$ на плоском экране для случая оптических волн, в точках $P1$ которой расположены дискретные излучатели сферических волн, то

$$h(x_0, y_0; x_1, y_1) = \frac{1}{j\lambda} \cdot \frac{1}{r'_{01}} \cdot \text{Cos}(\bar{n}, \bar{r}'_{01}) \cdot e^{jKr_{01}}$$

Запишем значения r'_{01} и $\text{Cos}(\bar{n}, \bar{r}'_{01})$ в развернутом виде:

$$r'_{01} = \sqrt{z^2 + x_0^2 + y_0^2}, \text{Cos}(\bar{n}, \bar{r}'_{01}) = \frac{z}{\sqrt{z^2 + x_0^2 + y_0^2}}$$

тогда выражение (2) примет вид:

$$U(x_0, y_0) = \frac{1}{j\lambda} \cdot \frac{z}{(z^2 + x_0^2 + y_0^2)} \cdot \iint_{-\infty}^{+\infty} e^{jKr_{01}} \cdot U(x_1, y_1) dx_1 dy_1 \quad (4)$$

В выражении (5) Z – расстояние от плоскости S сечения звукового импульса до плоскости голограммы, x_0, y_0 – координаты приемноизлучающих элементов измерительной решетки. Величина $\frac{z}{(z^2 + x_0^2 + y_0^2)}$ характеризует затухание амплитуды эхосигналов при распространении отраженной волны в исследуемой среде и должна быть учтена в устройствах временного автоматического регулирования усиления (ВАРУ) приемноизлучающих трактов голографической си-

стемы. Таким образом, снимаются ограничения параксиального приближения Френеля (4) на апертуру измерений x_0, y_0 . значения комплексных амплитуд в точках $P0$ линейной измерительной апертуры будут определяться зависимостью, формулируемой дифракционным интегралом Рэлея-Зоммерфельда в виде (2).

Учитывая, что координаты x_1, y_1 в плоскости S сечения звукового импульса являются достаточно малыми величинами по сравнению с координатами x_0, y_0 и расстоянием r_{01} , что выполняется в реальных условиях, так как размеры площадки $S \ll$ апертуры измерений, координаты x_1, y_1 можно аппроксимировать центром площадки S с постоянным значением x'_1, y'_1 . В этом случае значение $r_{01} \approx r'_{01}$ в знаменателе (3) не зависит от значения x_1, y_1 и может быть вынесено за знак интегрирования в (2), (3). Исходя из этого же условия для r'_{01} , $\text{Cos}(\bar{n}, \bar{r}'_{01})$ также можно вынести за знак интегрирования и выражение (3) запишется в виде:

стемы. Таким образом, снимаются ограничения параксиального приближения Френеля (4) на апертуру измерений x_0, y_0 .

Поскольку значение апертуры измерений может быть достаточно большим, аппроксимировать r'_{01} в показателе подынтегральной экспоненты выражения (5) Френель предложил путем разложения квадратного корня в степенной ряд вида (6)

Ограничившись линейным членом, то для случая линейной апертуры измерений выражение (5) принимает вид:

$$U(x_0) = \frac{1}{j\lambda} \cdot \frac{z}{z^2+x_0^2} \cdot e^{jKz} \int_{-\infty}^{+\infty} e^{\frac{jK}{2z}(x_0-x_1)^2} \cdot U(x_1) dx_1 \quad (5)$$

Раскроем скобки в показателе экспоненты под знаком интеграла, вынесем за знак интегрирования члены, не зависящие

$$U(x_0) = \frac{1}{j\lambda} \cdot \frac{z}{z^2+x_0^2} \cdot e^{\frac{j\omega z}{c}} \cdot e^{\frac{j\omega}{2cz}x_0^2} \int_{-\infty}^{+\infty} U(x_1) \cdot e^{\frac{j\omega}{2cz}x_1^2} \cdot e^{-\frac{j2\pi}{c}f_x x_0 x_1} dx_1 \quad (6)$$

$$U(x_1) = j\lambda \cdot e^{-\frac{j\omega}{2cz}x_0^2} \cdot \frac{z^2 + x_0^2}{z} \cdot e^{\frac{c}{j\omega z}} \int_{-\infty}^{+\infty} U(x_0) \cdot e^{-\frac{j\omega}{2cz}x_0^2} \cdot e^{j2\pi f_{x_0} x_1} df_{x_0}$$

Из выражения (6) следует, что голограммное описание $U(x_0)$ среды с неоднородностями в сечении звукового импульса S является прямым Фурье-преобразованием

$$A = \frac{1}{j\lambda} \cdot \frac{z}{z^2+x_0^2} \cdot e^{\frac{j\omega z}{c}} \cdot e^{\frac{j\omega}{2cz}x_0^2} \quad (7)$$

Таким образом, взаимно однозначное соответствие голограммного описания $U(x_0)$ и объектной (восстанавливаемой) функции $U(x_1)$ определяется выражениями (6) и (7), которые представляют пару Френель-Фурье – преобразований с умножением функций и их Фурье образов на соответствующие коэффициенты.

$$U(x_0) = A \sum_{x_1} U(x_1) \cdot e^{\frac{j\omega}{cz}x_1^2} \cdot e^{-j2\pi \cdot f_{x_0} x_1} \Delta x_1 \quad (8)$$

$$U(x_1) = A^{-1} \sum_{x_0} U(x_0) \cdot e^{\frac{j\omega}{2cz}x_0^2} \cdot e^{j2\pi \cdot f_{x_0} \cdot x_1} \Delta f_{x_0}$$

где $U(x_0)$ – функция звуковой голограммы

x_0 – координаты точек (датчиков) на линии голографирования

$U(x_1)$ – объектная функция

x_1 – координаты точек на объектной линии

$\omega = 2\pi f_{x_0}$ – пространственные частоты в спектре сигнала голограммы

z – расстояние между плоскостью голографирования и объектной плоскостью

λ – длина волны, c – скорость звука

от x_1, y_1 , и выразим пространственные частоты через:

объектной функции, предварительно умноженной на фокусирующий множитель Френеля $e^{\frac{j\omega}{2cz}x_1^2}$.

При этом прямое Фурье-преобразование необходимо умножить на постоянный коэффициент A

Для непосредственного применения в проектируемой системе эхоскопии голографического типа необходимо представить зависимости (6), (7) в дискретном виде. Пара дискретных одномерных преобразований с учетом ограничений Кирхгофа-Френеля запишется в виде:

Однако в реальной системе УЗ диагностики зондирующий импульс имеет конечные геометрические размеры, и процесс отражения его от границ неоднородности объекта контроля в таком случае может быть представлен, как показано на рис.1.

Для обеспечения целей и задач проектируемой программы необходимо обеспечить возможность задавать глубину исследуемой области, начальную фазу отраженной ультразвуковой волны, расстояние между моделируемой точкой и точкой-помехой, отношение амплитуд отраженно-го

от моделируемой точки и точки-помехи эхосигнала, размер апертурной решетки датчиков. Также необходимо предоставить оператору результаты расчета полученной эталонной интенсивности (без учета влияния точки-помехи) точки акустического изображения, суммарной интенсивности, рассчитанной с учетом влияния точки помехи, и полученной относительной погрешности интенсивности точки, вызванной привнесением помехи. Удобно также вывести гра-

фики принятых значений эхо-сигнала каждым датчиком. Наконец, для анализа предельной разрешающей способности системы УЗ эхоскопии необходимо построить семейство характеристик относительной погрешности принятого эхо импульса для различных расстояний между исследуемыми точками на различной глубине объекта сканирования. Именно эти семейства характеристик и будут результирующими характеристиками разрешающей способности системы эхоскопии голографического типа.

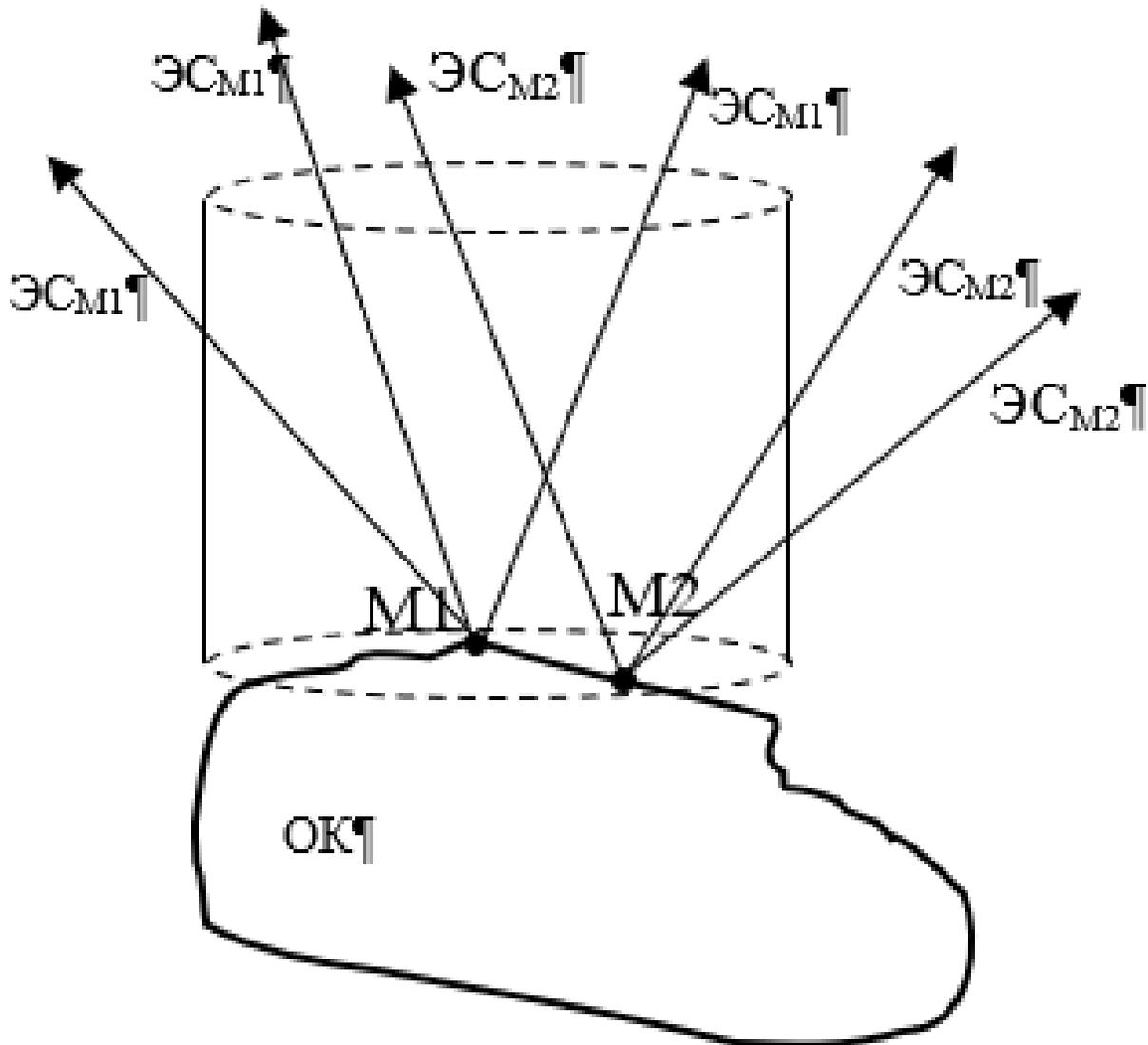


Рис 1. Модель работы УЗ системы с учетом конечного размера зондирующего импульса

Выводы

В результате показано, что в отличие от систем эхоскопии не голографического типа, где от плотности прилегания датчиков к объекту зондирования зависит фокусировка изображения неоднородностей, в голографических УЗ системах эхоскопии пространственная и контрастная разрешающая способность при неплотном прилегании части датчиков к поверхности объекта ухудшается незначительно. Системы вывода также являются нечувствительными к флуктуациям скорости распространения ультразвука в зондируемой среде. Доказано, что разрешающая способность системы практически не зависит от плотности размещения датчиков на апертуре, что делает голографические системы значительно более технологичными в производстве. Алгоритмы и программы решения задач формирования и вывода изображений неоднородностей в реальном времени показали эффективность выбранных аппаратно-программных средств.

Литература

1. Евдокимов В.Ф., Огир А.С., Тарапата В.В. Математические модели про-

цессов формирования изображений в системах ультразвуковой дефектоскопии неголографического типа. / В.Ф. Евдокимов, А.С. Огир, В.В. Тарапата. – Электронное моделирование, 2008. – №1. – С. 39-49.

2. Ермолов И.Н. Достижения в теоретических вопросах ультразвуковой дефектоскопии. / И.Н. Ермолов. – Задачи и перспективы, Дефектоскопия, 2004. – № 11. – С. 13-47.

3. Бадалян В.Г. Погрешность измерения дефектов с использованием систем с когерентной обработкой данных. / В.Г. Бадалян. – Дефектоскопия, 2003. – №3. – С.12-23.

4. Аксенов В.П. Применение радиолокационных методов оптимального обнаружения при ультразвуковом эхоконтроле. / В.П. Аксенов. – Дефектоскопия, 1982. – №2. – С. 67-74.

5. Method and apparatus for coherent image formation, US Pat. № 5.793.701. Date of Patent: Aug. 11. 1998.

6. Method and apparatus for coherent image formation. Date of Patent: Apr. 9. 1998.

Євдокимов В.Ф., Огір О.О., Душеба В.В.

КОМП'ЮТЕРНА ТЕХНОЛОГІЯ ФОРМУВАННЯ АКУСТИЧНИХ ЗОБРАЖЕНЬ ДЕФЕКТІВ СКАНОВАНОГО СЕРЕДОВИЩА З ВИСОКОЮ ТОЧНІСТЮ

Актуальною є розробка комп'ютерної технології формування акустичних зображень дефектів сканованого середовища, що включає в себе розробку архітектури, апаратного та програмного забезпечення для систем ультразвукової ехоскопії, що використовують в якості інформаційного параметра і амплітуду, і фазу відбитого ехосигналу. Також актуальною науковою задачею є розробка ефективного обчислювального алгоритму реконструкції акустичних зображень об'єкта (середовища) за відповідними голограмним описам. Алгоритм повинен бути досить швидкодіючим для роботи в реальному часі, слабо чутливим до перешкод і флуктуацій швидкості ультразвуку. В теорії УЗ систем ехоскопії відомі високі потенційні можливості голографічних методів обробки інформації, пов'язані з реєстрацією та комп'ютерною обробкою звукових голограм - фазових і амплітудно-фазових просторових спектрів відбитої від об'єкта звукової хвилі. В описах новітніх систем медичної діагностики, наприклад, Sequoia S512 виробника Acuson, вже з'явилися повідомлення про використання фази відбитого ехосигналу для формування зображень патологій в тканинах людського організму. Крім того, використання комп'ютерних цифрових моделей фізичних голограм має властиві тільки їм гідності – можливість застосування алгоритмічної обро-

бки на всіх стадіях формування звукової голограми та реконструкції голограмних зображень. Це дозволяє провести різну попередню комп'ютерну обробку зображень з метою їх поліпшення перед виведенням на екран оператора. Розробка засобів і нових технологій для покращення зображень дефектів середовища в реальному часі – ще одна актуальна проблема в даній області. Роздільна здатність голографічного системи залежить від значення глибини (дальності) залягання досліджуваної області. Зі збільшенням робочої частоти і розмірів апертури роздільна здатність системи поліпшується. Просторова роздільна здатність не залежить від кількості датчиків на апертурі вимірювань. Це є принциповою відмінністю від акустичних систем контролю з алгоритмами трансверсальної фільтрації при формуванні зондуючого променя в режимі прийому ехосигналів.

Ключові слова: сигнали-перешкоди, формування зображень, просторова роздільна здатність, ехосигнал.

Evdokimov V.F., Ogir E.A., Dusheba V.V.

COMPUTER TECHNOLOGIES FOR FORMATION OF ACOUSTIC IMAGES OF DEFECTS OF THE SCANNED ENVIRONMENT WITH HIGH ACCURACY

The development of a computer technology for the formation of acoustic images of defects in the scanned medium, which includes the development of architecture, hardware and software for ultrasonic echoscopy systems, using both the amplitude and phase of the reflected echo signal as an information parameter, is urgent. Also, an urgent scientific task is the development of an effective computational algorithm for the reconstruction of acoustic images of an object (environment) according to the corresponding hologram descriptions. The algorithm should be fast enough to operate in real time, poorly sensitive to noise and fluctuations in the ultrasound velocity. In the theory of ultrasonic echoscopy systems, high potentialities of holographic information processing methods are known, associated with the registration and computer processing of sound holograms - phase and amplitude-phase spatial spectra of a sound wave reflected from an object. In the descriptions of the latest medical diagnostic systems, for example, the Sequoia S512 from Acuson, there have already been reports of using the phase of the reflected echo signal to form images of pathologies in the tissues of the human body. In addition, the use of computer digital models of physical holograms has inherent advantages only – the possibility of using algorithmic processing at all stages of the formation of a sound hologram and reconstruction of hologram images. This allows to carry out various preliminary computer processing of images in order to improve them before being displayed on the operator's screen. The development of tools and new technologies to improve the images of environmental defects in real time is another urgent problem in this area. The resolution of the holographic system depends on the depth (range) of the area under study. With an increase in the operating frequency and the size of the aperture, the resolution of the system improves. Spatial resolution does not depend on the number of sensors on the measurement aperture. This is a fundamental difference from acoustic control systems with transverse filtering algorithms when forming a probing beam in the mode of receiving echo signals.

Key words: interference signals, imaging, spatial resolution, echo signals.

Евдокимов В.Ф., Огир Е.А., Душеба В.В.

КОМПЬЮТЕРНАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ФОРМИРОВАНИЯ АКУСТИЧЕСКИХ ИЗОБРАЖЕНИЙ ДЕФЕКТОВ СКАНИРУЕМОЙ СРЕДЫ С ВЫСОКОЙ ТОЧНОСТЬЮ

Актуальной является разработка компьютерной технологии формирования акустических изображений дефектов сканируемой среды, что включает в себя разработку архитектуры, аппаратного и программного обеспечения для систем ультразвуковой эхоскопии,

использующих в качестве информационного параметра и амплитуду, и фазу отраженного эхосигнала. Также актуальной научной задачей является разработка эффективного вычислительного алгоритма реконструкции акустических изображений объекта (среды) по соответствующим голограммным описаниям. Алгоритм должен быть достаточно быстродействующим для работы в реальном времени, слабо чувствительным к помехам и флуктуациям скорости ультразвука. В теории УЗ систем эхоскопии известны высокие потенциальные возможности голографических методов обработки информации, связанные с регистрацией и компьютерной обработкой звуковых голограмм – фазовых и амплитудно-фазовых пространственных спектров отраженной от объекта звуковой волны. В описаниях новейших систем медицинской диагностики, например, Sequoia S512 производителя Acuson, уже появились сообщения об использовании фазы отраженного эхосигнала для формирования изображений патологий в тканях человеческого организма. Кроме того, использование компьютерных цифровых моделей физических голограмм имеет присущие только им достоинства – возможность применения алгоритмической обработки на всех стадиях формирования звуковой голограммы и реконструкции голограммных изображений. Это позволяет провести различную предварительную компьютерную обработку изображений с целью их улучшения перед выводом на экран оператора. Разработка средств и новых технологий для улучшения изображений дефектов среды в реальном времени – еще одна актуальная проблема в данной области. Разрешающая способность голографической системы зависит от значения глубины (дальности) залегания исследуемой области. С увеличением рабочей частоты и размеров апертуры разрешающая способность системы улучшается. Пространственная разрешающая способность не зависит от количества датчиков на апертуре измерений. Это является принципиальным отличием от акустических систем контроля с алгоритмами трансверсальной фильтрации при формировании зондирующего луча в режиме приема эхосигналов.

Ключевые слова: сигналы-помехи, формирование изображений, пространственное разрешение, эхосигнал.