

5. Матросова Ю. Н. Разработка устройства автоматизированного неразрушающего контроля физико-механических свойств пористых материалов с учётом размеров и технологии изготовления // Контроль. Диагностика. – 2010. – №10 (148). – С. 68 – 72.
6. Кинаш О. А. Вопросы контроля технического состояния линий среднего класса напряжений на опыте применения систем УФ-диагностики ООО «Энергонефть Томск» / О. А. Кинаш, С. И. Смирнов, Р. Ф. Харисов и др. // Территория NDT. – 2012. – №2. – С. 53 – 55.
7. Черемской П. Г. Поры в твердом теле / П. Г. Черемской, В. В. Слезов, В. И. Бетехтин. – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 376 с.
8. Ультразвуковой контроль материалов: Справ. изд.: пер. с нем. / Й. Крауткремер, Г. Крауткремер. – М.: Металлургия, 1991. – 752 с.

*Надійшла до редакції
05 травня 2014 року*

© Галаган Р. М., 2014

УДК 621.19

ОПТИЧЕСКАЯ СИСТЕМА ОПРЕДЕЛЕНИЯ КООРДИНАТ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПЗС МАТРИЦ

Серый К. Н.

*Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт»,
г. Киев, Украина
skn@bigmir.net*

В статье рассмотрен метод определения пространственных координат измерительного преобразователя дефектоскопа с использованием оптических систем. В качестве чувствительных элементов оптических систем предложено использовать приборы с зарядовой связью (ПЗС). Показано преимущества применения этих приборов в оптических системах, а также обосновано их пространственное расположение относительно друг друга.

Проведенные исследования на экспериментальном стенде позволили определить факторы, влияющие на погрешность определения пространственных координат данным методом.

Предложенный метод позволяет автоматизировать процесс контроля и сформировать в памяти портативного компьютера формуляр с отображением картины выполненной операции в пространственных координатах положения преобразователя дефектоскопа, а также отображать месторасположения выявляемых дефектов. Полученные независимо от дефектоскописта отображения выполненного контроля путем сканирования поверхности объекта измерительным преобразователем является объективным документом, подтверждающим выполнение контроля. Наличие такого документа позволяет оценить качество проведенного контроля и обеспечивает объективность оценки полученных результатов.

***Ключевые слова:** пространственные координаты, фотоприёмник, измерительный преобразователь.*

Постановка проблемы

Дефектоскопист, который производит контроль объекта вручную, не имеет возможности определить точные координаты дефекта в случае его выявления. Поэтому результат контроля является субъективным и не обеспечивает документального подтверждения в пространственных координатах поверхности объекта контроля. В этом случае, процедура устранения субъективности кон-

троля и запоминания полученных результатов не всегда соответствует универсальности используемой аппаратуры.

Очевидно, решение данной проблемы лежит в плоскости развития таких средств неразрушающего контроля, которые соединяли бы преимущества ручного сканирования с автоматическим определением координат положения измерительного преобразователя в процессе сканирования и записью в памяти компьютера как координат преобразователя, так и выходного сигнала дефектоскопа в цифровом формате. Поставленная задача может быть решена путем создания аппаратуры с бесконтактным и дистанционным определением координат положения преобразователя при ручном сканировании трёхмерной поверхности объекта контроля.

Анализ последних исследований

Проблема координатной записи результатов контроля при ручном сканировании не является новой для современной дефектоскопии [1]. Некоторые зарубежные фирмы предлагают свои разработки для решения упомянутых задач. Одной из простейших конструкций, которая используется в устройствах сканирования, является механическая система определения координат преобразователя, предложенная фирмой «Olympics», США.

В состав такой системы (координатографа) входит два измерителя длины типа рулетки, которые закрепляются на поверхности плоских объектов при помощи пневматических или магнитных приспособлений. Эти приспособления имеют реверсивные считывающие устройства, которые по числу меток, нанесённых на мерные ленты указанных рулеток, определяют их длину. Концы мерных лент закрепляют на корпусе преобразователя. Расстояние между считывающими устройствами образует базу измерения, которая совпадает с осью абсцисс, начало системы отсчета координат совпадает с одним из считывающих устройств. Координаты преобразователя в данной системе определяются из составленной системы уравнений, где фигурируют расстояния между преобразователем и каждым считывающим устройством, а также величина базы измерения.

Недостатком подобных механических координационных систем является низкая точность определения координат относительно данной системы отсчета. Уменьшение погрешности измерения в данном случае достигают за счет привязки координат базы измерения к реальным координатам объекта контроля.

С развитием современной электроники стало возможным использование в неразрушающем контроле беспроводных технологий [2]. Один из методов определения координат измерительного преобразователя, исключая механические элементы системы, основан на использовании электромагнитных колебаний сверхвысоких частот. Система построена на принципе, который позволяет передавать полученную информацию дистанционно. Такая система содержит электронный генератор, выходной сигнал которого (частота порядка 300 МГц) подается на антенну, установленную на корпусе измерительного преобразователя дефектоскопа. Приемники для этого сигнала устанавливаются на концах

базы измерения. Определение расстояний между излучателем электромагнитного сигнала и приёмниками на концах базы измерения выполняется путем определения времени задержки принятых сигналов, измеряя фазовые сдвиги этих колебаний.

Недостатком данного способа определения координат является недостаточная точность и надежность получения результатов. Так как, излучение электромагнитных колебаний сверхвысоких частот даже малой мощности способно вызвать реверберацию сигналов, отраженных от поверхности объекта контроля и посторонних предметов, что приводит к искажению фазы сигналов на входах измерителей фазовых сдвигов. Метод, также имеет некоторую сложность реализации – необходимость установки определенной длины антенн для передачи и приёма сигналов. Кроме всего, подобные системы пригодны для сканирования объектов только с плоской поверхностью.

Сегодня наиболее часто используемые в дефектоскопии системы определения координат преобразователей используют свойства ультразвуковых колебаний. Известно, что колебания сравнительно низких частот 50÷100 кГц могут быть использованы для определения небольших расстояний (до 10 метров) путем измерения времени задержки распространения колебаний в данной среде. При этом обязательным условием является наличие информации о скорости распространения этих колебаний в используемой среде [3]. Поэтому, ультразвуковые колебания указанного диапазона частот используют в системах ручного сканирования для определения координат измерительного преобразователя дефектоскопа.

Ультразвуковая система определения координат работает следующим образом [4]. Ультразвуковой излучатель радиоимпульсных колебаний с широкой диаграммой направленности размещается на удлинённом корпусе измерительного преобразователя. Возбужденные при помощи излучателя колебания принимаются аналогичными акустическими приёмниками, расположенными на такой же высоте по краям базы измерения, длину которой выбирают в пределах одного метра. Высота расположения излучателей и приёмников выбирается из условия исключения ошибки определения координат за счет реверберационных сигналов, отраженных от поверхности объекта контроля.

Однако необходимо отметить, что данный метод определения координат имеет существенный недостаток, который выражается в зависимости скорости распространения ультразвука от движения воздушных масс. Так на пример, небольшой порыв ветра со скоростью всего 1 м/с приводит к появлению погрешности равной 3 мм при измерении расстояния в 1 м. Остальные виды погрешностей, такие как неточность кодирования интервала времени прохождения ультразвуковой волны между источником и приёмником или неточность определения момента времени прихода колебаний к приёмнику, имеют значения на два порядка меньше чем погрешность от движения воздуха. Таким образом, применение таких систем для контроля объектов в полевых условиях становится затруднительным.

Постановка задачі

В статті пропонується розглянути систему визначення просторових координат вимірювального перетворювача дефектоскопа в процесі ручного сканування поверхні об'єкта контролю, яка здійснювала б запис цих координат і усувала б суб'єктивність результатів контролю. Пропонується система базується на використанні оптичних систем з фотоприймачами в формі двовимірних матриць з зарядовою зв'яззю.

Изложение основного материала

Оптические системы, использующие приборы с зарядовой связью (ПЗС), нашли широкое применение не только в бытовой технике, но и специальной фототехнике. Подобные системы состоят из оптического объектива и фотоприёмника в виде двумерной ПЗС-матрицы, расположенной в фокальной плоскости этого объектива. Такие системы дают возможность считывать координаты оптического изображения спроектированного на ПЗС-матрицу объективом.

Для решения поставленной задачи предлагается система, содержащая две оптические камеры с ПЗС-матрицами, которые размещаются в фокусных плоскостях объективов под углом в 90° на расстоянии в 1 м одна от другой. База измерений $B=1\text{ м}$ соответствует расстоянию между центрами объективов оптических камер. Пространственное положение преобразователя, на корпусе которого устанавливается точечный источник света (светодиод с широкой диаграммой направленности) можем определить с помощью цифровых видеокамер. На рис. 1 схематично показано взаимное расположение оптических камер и точечных источников света.

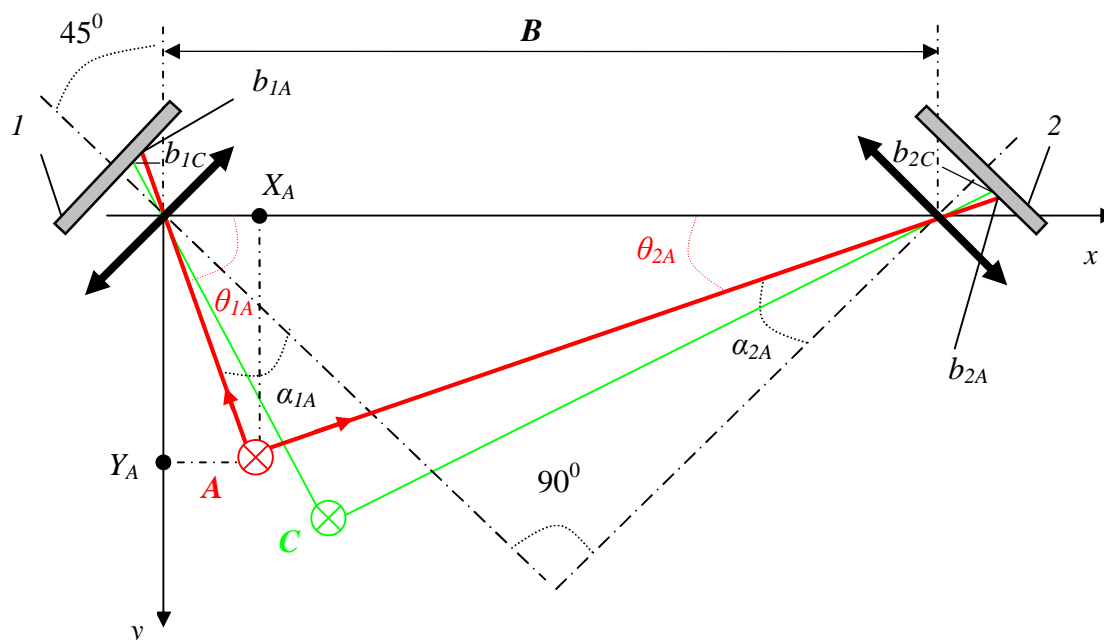


Рис. 1. Схема определения координат с использованием оптических камер, расположенных под углом в 90° , где: 1 и 2 – ПЗС-матрицы оптических камер, А и С – точечные источники света, В – база измерений.

Значения углов θ для точечного источника света A при данном расположении оптических камер можно определить следующим образом:

$$\theta_{1A}^0 = 45^0 - \alpha_{1A}^0, \quad (1)$$

$$\theta_{2A}^0 = 45^0 - \alpha_{2A}^0.$$

Аналогично значения углов для точечного источника света C определяются из выражений:

$$\theta_{1C}^0 = 45^0 - \alpha_{1C}^0, \quad (2)$$

$$\theta_{2C}^0 = 45^0 - \alpha_{2C}^0.$$

Значения углов α могут иметь как положительные, так и отрицательные значения в зависимости от знака координаты центра оптического изображения на ПЗС-матрицах. Значения этих углов определяется через отношение соответствующей горизонтальной координаты центра оптического изображения точечного источника света b до фокусного расстояния объектива F :

$$\alpha = \arctg\left(\frac{b}{F}\right). \quad (3)$$

Тогда, для предлагаемого расположения оптических камер (рис. 1) значения этого угла будут $\alpha_{1A} = \arctg\left(\frac{-b_{1A}}{F}\right)$ рад.

Но, для использования угла α в формуле для определения соответствующего угла θ его нужно представлять в градусах.

Формулы для нахождения координат точечных источников A и C определяются через соответствующие углы θ и имеют следующий вид:

$$X_A = \frac{B \cdot \operatorname{tg}(45^0 - \alpha_{1A}^0) \cdot \operatorname{tg}(45^0 - \alpha_{2A}^0)}{\operatorname{tg}(45^0 - \alpha_{1A}^0) + \operatorname{tg}(45^0 - \alpha_{2A}^0)}, \quad (4)$$

$$Y_A = \frac{B \cdot \operatorname{tg}(45^0 - \alpha_{1A}^0)}{\operatorname{tg}(45^0 - \alpha_{1A}^0) + \operatorname{tg}(45^0 - \alpha_{2A}^0)}, \quad (5)$$

$$Z_A = \frac{H \cdot F - (Y_A - F) \cdot a_{1A}}{F}. \quad (6)$$

В формуле для определения координаты Z_A значения a_{1A} представляют собой вертикальную координату центра оптического изображения точечного источника света на ПЗС-матрице 1.

В выражениях для определения координат X_C, Y_C, Z_C необходимо значения $\alpha_{1A}^0, \alpha_{2A}^0$ заменить на значения $\alpha_{1C}^0, \alpha_{2C}^0$ соответственно и также произвести замену на координату a_{1C} .

Как уже отмечалось, в предлагаемой системе оптические камеры с ПЗС-матрицами расположены под углом 90° по отношению друг к другу, их закрепляют на планке длиной B (стороны прямоугольной рамы). В тоже время, эти оптические камеры должны быть расположены под углом в 45° относительно базы измерения. Такое расположение позволяет выполнять сканирование поверхности объекта контроля без ограничений в пределах зоны видимости камер площадью B^2 .

Расчеты для определения координат и их последующая запись вместе с цифровыми значениями уровня выходного сигнала дефектоскопа выполняются с помощью персонального компьютера. АЦП и микроконтроллер, которые управляют процессом кодирования выходного сигнала дефектоскопа и синхронной записи информации – кода амплитуды сигнала вместе с координатами измерительного преобразователя дефектоскопа располагаются на дополнительной плате в компьютере.

Цифровая запись координат пространственного положения измерительного преобразователя дефектоскопа вместе с цифровым кодом выходного сигнала должна полностью удовлетворять современным требованиям к исключению субъективности неразрушающего контроля и возможности анализировать, как процесс контроля, так и его результат.

При выполнении монтажа оптических камер необходимо проводить юстировку углового положения осей этих камер. На рис. 2 показан принцип юстировки положения камер.

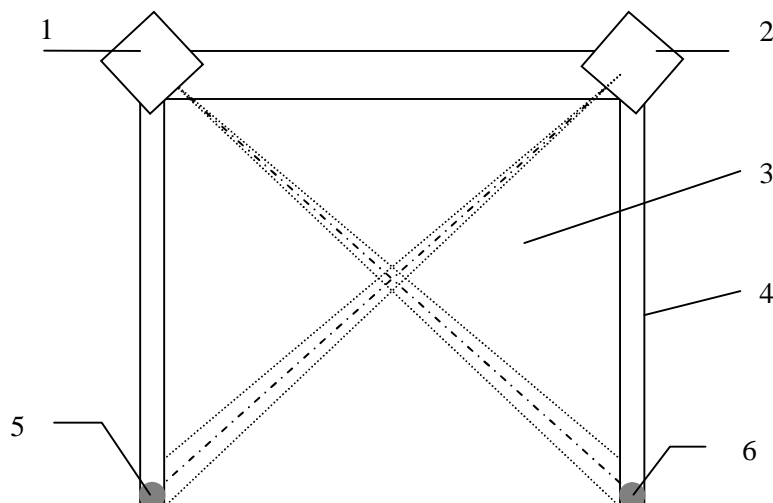


Рис. 2. Принцип юстировки углового положения оптических камер, где: 1 и 2 – оптические камеры; 3 – поле сканирования; 4 – крепежная рама; 5 и 6 – светодиоды

Экспериментальная реализация предложенного метода

Для подтверждения теоретической части данной работы была разработана действующая модель системы определения координат положения измеритель-

ного преобразователя дефектоскопа.

Общий вид исследовательского стенда определения пространственных координат преобразователя показан на рис. 3.



Рис. 3. Общий вид исследовательского стенда для определения пространственных координат преобразователя дефектоскопа

Стенд в своем составе имеет две оптические системы типа Slim 1320 RGB24, каждая из которых обладает следующими параметрами:

- число пикселей - 1.310.720 (1280×1024);
- фокусные расстояния объектива в направлении ПЗС-матриц – 2,5 мм, в направлении объекта – до 5 м;
- угол зрения объектива - 120°;
- площадь ПЗС-матрицы – 60 мм² (8,66 мм на 6,93 мм) и линейные размеры пикселя – 6 мкм на 6 мкм.

Считывание оптического изображения на ПЗС-матрице выполняется при помощи программы, которая написана на языке программирования С# («Си шарп») [5]. Программа является многомодульной, основные подпрограммы были протестированы и промоделированы.

Анализ работы подобных оптических камер показал неточность расположения ПЗС-матриц относительно оси объектива. Поэтому для использования каждой из оптических камер в системе определения координат необходима дополнительная настройка камеры с целью определения номера ряда и номеров пикселей каждого из рядов для определения декартовых осей ПЗС-матрицы. Эту операцию необходимо выполнить в процессе юстировки углового положения каждой камеры с помощью точечного источника света, который размещают на противоположном пересечении сторон квадратной рамы при размещении оптических камер на концах одной из сторон квадратной рамы.

Для выполнения юстировки и последующей работе по определению центров оптических изображений на ПЗС-матрице (горизонтальной b и вертикальной a координат) нами разработана программа, которая определяет координаты положения зоны освещенности и её центр.

Результаты визуализации информации о координатах преобразователя показаны на рис. 4. База измерения координат положения измерительного преобразователя в данной модели составляет 0,5 м. Квадратный стол этого стенда рассчитан на размещение объектов в виде деталей и узлов систем.

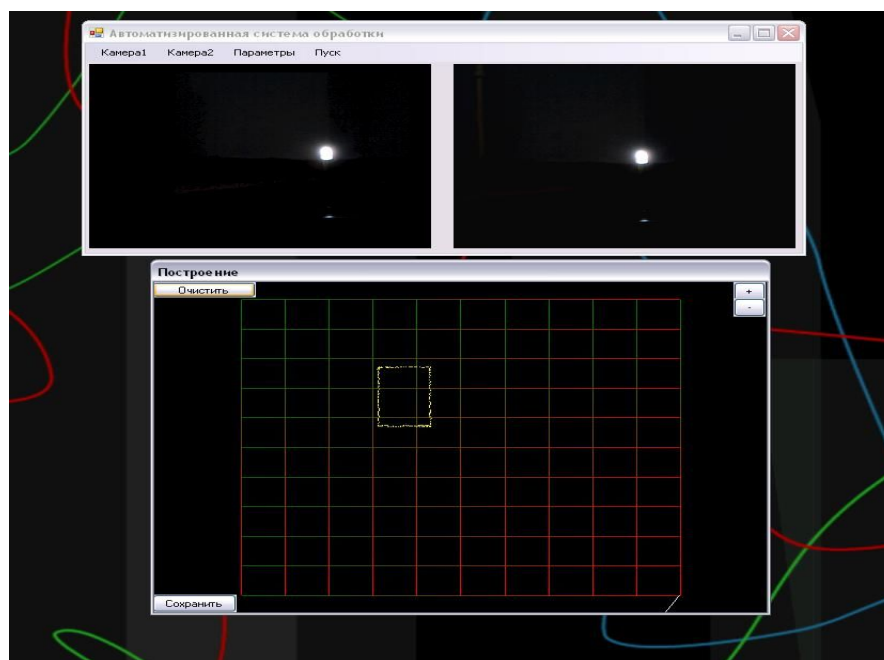


Рис. 4. Результаты визуализации координатной информации

Данный стенд испытывался в работе при определении координат сканирования плоских объектов. В качестве измерительного преобразователя был использован металлический цилиндр с точечным светодиодом на вершине небольшого по высоте удлинения. Положение центра светодиода находится в плоскости положения осей объективов оптических камер. Такое пространственное положение светодиода также даёт возможность выполнить упомянутые юстировочные работы.

Экспериментальные исследования позволили установить фактическую точность определения координат центров оптических проекций светового пятна от светодиода при различных его координатных положениях. При этом была учтена точность юстировки системы, а точность определения градиентов освещенности (границ размытой оптической проекции света светодиода) составила приблизительно ± 4 мм. Повышение яркости свечения светодиода на 50% снижает погрешность на 1 мм.

Результаты экспериментальных исследований, проведенные на опытной образце системы, также показали возможность автоматизации процесса определения координат положения измерительного преобразователя во время проведения ручного сканирования объекта, что решает задачу автоматической координатной записи информации в память портативного компьютера о выполненном контроле.

Выводы

В статье рассмотрен метод определения пространственных координат измерительного преобразователя дефектоскопа с использованием оптических систем. Показано преимущества применения в оптических системах приборов с зарядовой связью, а также обосновано их расположение относительно друг друга. Проведенные исследования на экспериментальном стенде позволили определить факторы, влияющие на погрешность определения пространственных координат.

Предложенный метод позволяет сформировать в памяти портативного компьютера формуляр с отображением картины выполненного неразрушающего контроля в пространственных координатах положения преобразователя дефектоскопа, а также отображать месторасположения выявляемых дефектов.

Полученные независимо от дефектоскописта отображения выполненного контроля путем сканирования поверхности объекта измерительным преобразователем является объективным документом, подтверждающим выполнение контроля. Наличие такого документа позволяет оценить качество проведенного контроля и обеспечивает объективность оценки полученных результатов.

В качестве перспективы дальнейших исследований можно рассматривать дальнейшее повышение точности определения координат преобразователя, а также поиск методик, позволяющих привязывать относительные координаты преобразователя к фактическим координатам объекта контроля.

Литература

1. Albert S. Birks. Nondestructive Testing Handbook. Second / Albert S. Birks, Robert E. Green. – ASNTD 1991. – Edition. Vol. 7. – P. 451.
2. Гури́н С. А. Сканы́ры-дефектоскопы // В мире неразрушающего контроля. – 2004. – Т. 24, № 2. – С. 31 – 33.
3. Горбатов А. А. Акустические методы измерения расстояний в воздушной среде / А. А. Горбатов, Г. Е. Рудашевский. – М.: Энергоиздат, 1981. – С. 115 – 201.
4. Маєвський С. М. Безконтактна система визначення координат вимірювального перетворювача дефектоскопу / С. М. Маєвський, К. М. Серій // Технічна діагностика та неруйнівний контроль – К.: НАН України, ІЕЗ ім. Є. О. Патона. – 2012. – № 4. – С. 20 – 23.
5. Архангельский А. Я. Программирование в C++Builder 6. – М.: Издательство БИНОМ, 2003. – 467 с.

*Надійшла до редакції
18 жовтня 2014 року*

© Серый К. Н., 2014