

СПОСОБ ИЗМЕРЕНИЯ АМПЛИТУДЫ КОЛЕБАНИЙ ИЗЛУЧАЮЩЕЙ ПОВЕРХНОСТИ УЛЬТРАЗВУКОВОЙ КОЛЕБАТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ

В.Н. Хмелев (к.т.н.), Д.С. Абраменко, И.И.Савин

Бийский технологический институт (филиал) ГОУВПО «Алтайский государственный технический университет им. И.И.Ползунова». г.Бийск.

Аннотация: В статье рассматривается автоматизированный бесконтактный способ измерения амплитуды колебаний излучающей поверхности ультразвуковой колебательной системы не нуждающейся в предварительной калибровке.

Abstract: The article describes the automated contactless mean for measure an oscillation amplitude of emission surface of ultrasound oscillatory system. The mean does not need preliminary calibration.

Ультразвуковые технологии занимают прочное место в огромном количестве достижений ушедшего двадцатого века. Применение ультразвука позволило ускорить протекание множества химических реакций, упростить такие трудоемкие процессы, как размерная обработка хрупких и особотвердых материалов, а так же осуществить такие процессы, которые ранее считались нереальными, - например, соединение воды и масла, без последующего расслоения полученной эмульсии. Не меньшее значение ультразвук имеет в медицине. С его помощью не только диагностируют заболевания внутренних органов, но и проводятся бескровные операции по удалению злокачественных новообразований и целлюлитных отложений.

Все практические реализации ультразвуковых технологий немыслимы без систем контроля и диагностики. Амплитуда механических колебаний излучающей поверхности ультразвуковой колебательной системы один из основных параметров, характеризующих эффективность ультразвукового воздействия на обрабатываемый объект. Поэтому измерение и контроль амплитуды колебаний занимают очень важное место, как при проектировании ультразвуковых процессов и аппаратов, так и при изменении режимов во время технологического процесса.

Несмотря на большое распространение ультразвуковых технологий, на сегодняшний день нет достаточно универсальной методики и оборудования измерений амплитуды ультразвуковых колебаний, хотя известно большое количество методов, которые успешно применяются в частных случаях. Все методы контроля амплитуды можно условно разделить на контактные и бесконтактные [1].

При контактных измерениях часть измерительного устройства, по крайней мере, измерительный датчик, оказывается механически соединенной с исследуемой колеблющейся поверхностью. Такое присоединение может влиять на параметры измеряемых колебаний, внося соответствующие искажения и погрешности.

Лазерные бесконтактные методы позволяет работать в весьма широком диапазоне ультразвуковых частот, поскольку все частотные ограничения определяются здесь исключительно свойствами электронного тракта. В тоже время, преимущества лазерных методов можно реализовать, лишь собирая все элементы измерительного тракта на оптической скамье, что делает установки тяжелыми, громоздкими и дорогостоящими. На практике такие установки целесообразно использовать для калибровки, градуировки и поверки датчиков, а не для измерений технологических процессов, не говоря уже об использовании их для целей автоматического регулирования.

Самое широкое распространение в настоящее время получил метод, основанный на измерении амплитуды колебаний с помощью микроскопа, снабженного окулярной шкалой или сеткой [1].

В основе измерений с помощью микроскопа лежит наблюдение за боковой поверхностью стержневой ультразвуковой колебательной системы (УЗКС), совершающей продольные колебания, поляризованные вдоль ее оси (т.е. аксиально-продольные, для краткости обычно называемые просто продольными), через микроскоп, оптическая ось которого перпендикулярна оси системы. Наблюдения обычно ведут в отраженном свете, причем в окуляр вставляют шкалу или сетку с известной ценой деления. Заметив на исследуемой поверхности до включения колебаний четко видную точку или штрих, перпендикулярный оси системы, наблюдают их

"размывание". Величина этого размытия соответствует "размаху" колебаний, т.е. удвоенному значению амплитуды. При этом погрешность измерений определяется шириной неподвижного изображения наблюдаемой точки или штриха.

Основной недостаток этого метода обусловлен особенностью человеческого зрения, заключающейся в том, что если в поле зрения человека находятся объект с четкими и объект с нечеткими границами, зрительный центр мозга подсознательно концентрирует внимание на объекте с четкими границами, а положение нечеткого объекта не определяет. В процессе измерения амплитуды, видимые границы УЗКС являются нечеткими, а в поле зрения присутствуют объекты с четкими границами (измерительная шкала, неподвижные элементы УЗКС). В связи с этим, для определения положения «размытой» границы приходится сознательно концентрировать на ней внимание, что приводит к повышенному зрительному утомлению и снижению точности измерений. В некоторых случаях границы размытого изображения определить вообще невозможно. Метод практически не автоматизируется, поскольку определение границ нечеткого изображения представляет собой весьма сложную вычислительную задачу.

Частично устранить недостатки рассмотренного метода удалось применением стробоскопического освещения, когда момент формирования импульса синхронизируется с необходимой фазой колебаний [2].

Стробоскопический метод базируется на других свойствах человеческого зрения: инерционности и адаптивности. Инерционность обусловлена ограниченным быстродействием зрительного центра мозга и инерционностью зрительных рецепторов глаза. При этом, смена объектов в поле зрения с частотой 30-40Гц (у разных людей), обычно глазом не замечается, а выглядит как непрерывный процесс движения. Вторая особенность, связанная с инерционностью выражается в том, что при исчезновении светового раздражителя, зрительные клетки некоторое время вырабатывают мозгу сигнал о наличии раздражителя. Это приводит к тому, что световой импульс, длительность которого много меньше 10-20 мс воспринимается глазом как импульс длительностью 10-20 мс.

Адаптивность глаза выражается в том, что при увеличении освещенности чувствительность глаза снижается.

Если какой либо объект, совершающий периодическое движение (вращательное или колебательное) освещать не непрерывно, а импульсами, длительность которых во много раз меньше периода колебаний (или вращения), то глаз, по причине инерционности, в течение 10-20 мс видит объект в той фазе движения, в которой объект освещался импульсом. В силу адаптивности, чувствительность глаза снижается, и, если уровень освещенности объекта при отсутствии светового импульса меньше порога чувствительности глаза, то перемещения объекта при этом глазом замечаться не будут. Если частота возникновения световых импульсов равна частоте колебания объекта, то движущийся объект будет виден остановившимся в той фазе, в которой происходит освещение.

Основное достоинство стробоскопического метода заключается в том, что реализующая его установка не требует калибровки (необходимо только подтверждение кратности микроскопа). По этой причине, возможно использование стробоскопического метода для калибровки установок, основанных на других методах измерения амплитуды колебаний.

Стробоскопический метод, в его классической реализации, был практически реализован и использован в лаборатории акустических процессов и аппаратов Бийского технологического института для настройки ультразвуковых аппаратов различных типов[2].

Однако в процессе практических измерений амплитуды колебаний были выявлены существенные недостатки, обусловленные тем, что противоположенные максимальные фазы колебаний наблюдаются в различные моменты времени. Это создает значительные неудобства, снижает точность измерений и скорость их выполнения.

В связи с этим, возникла необходимость в проведении исследований по совершенствованию стробоскопического метода, направленных на обеспечение возможности наблюдения противоположных максимальных фаз колебаний одновременно.

Для решения поставленной задачи было предложено осуществлять освещение колеблющейся поверхности от двух источников, формирующих в цилиндрический пучок импульсное излучение световых колебаний различных длин волн (цветов), причем длительность импульсов устанавливаются много меньше периода рабочих колебаний колебательной системы. Частоту

следования импульсов предложено устанавливать так, что моменты формирования импульсов излучения одной длины волн (цвета) совпадают с моментом максимального смещения излучающей поверхности в одном направлении, а момент формирования импульсов излучения другой длины волн - с моментом максимального смещения в противоположном направлении. При практической реализации предложенного способа наблюдение осуществляют в проходящем свете, а амплитуду колебаний определяют по относительному смещению изображений колеблющейся поверхности в моменты формирования световых импульсов различных длин волн.

Особенностей цветовосприятия человеческого глаза, а также принятая система представления цвета на экране монитора ЭВМ требуют выбора длины волн источников света из условия их восприятия оператором как красный, зеленый или синий цвет свечения.

Сущность предложенного способа измерения амплитуды поясняется на рисунке 1. Ультразвуковая колебательная система размещается таким образом, что ее акустическая ось перпендикулярна оптической оси микроскопа, а колеблющаяся поверхность совмещается с ней (при наблюдении через микроскоп, граница колеблющейся поверхности неподвижной колебательной системы находится в центре поля зрения).

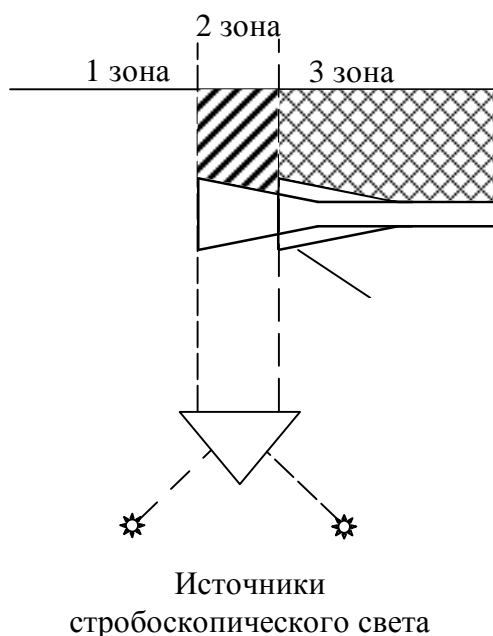


Рисунок 1. Схема формирования изображения

Импульсы светового излучения, формируемые источниками, создают теневые изображения, состоящие из двух зон – светлой, где световой поток не перекрывается колебательной системой и темной, где световой поток оказывается перекрытым. При неподвижной колебательной системе изображения, создаваемые двумя источниками будут совпадать, и результирующее изображение будет также состоять из двух зон. При работе колебательной системы, изображения, создаваемые источниками света окажутся сдвинутыми друг относительно друга на величину, равную размаху (удвоенной амплитуде) колебаний. В этом случае, наблюдаемое изображение оказывается состоящим из трех зон. Первая зона, окрашенная в цвет, образующийся сложением цветов двух источников, образуется сложением светлых зон двух изображений. Вторая зона, окрашенная в цвет одного из двух источников, образуется наложением светлой зоны одного и темной зоны другого изображения. Ширина второй зоны равна удвоенной амплитуде (размаху) колебаний. Третья зона является темной и образуется сложением темных зон двух изображений. Таким образом, измерение значения амплитуды колебаний сводится к определению ширины второй зоны. Примерный вид изображения представлен на рисунке 2. Зоны имеют четкие границы, что значительно упрощает процесс измерений.

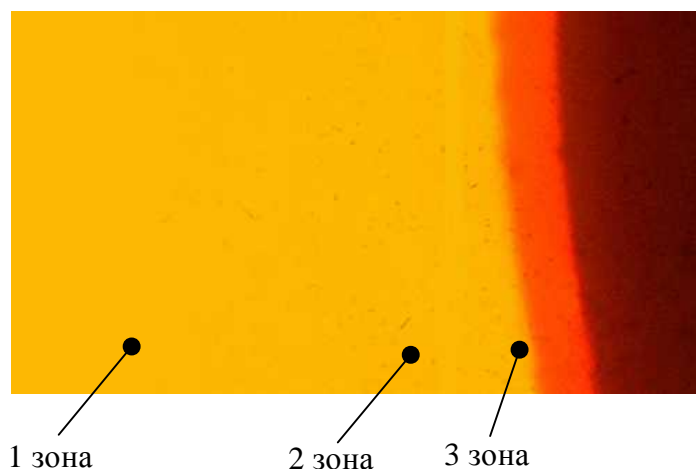


Рисунок 2.

Практическая реализация предложенного способа обеспечила измерение амплитуды в автоматизированном режиме. Для этого было использовано устройство графического ввода информации в ЭВМ, в качестве которого может быть использована серийная цифровая фотокамера, «Web-камера», или специализированное устройство, базирующиеся на линейных или растровых матрицах светочувствительных элементов.

Поскольку изображение, представленное на рисунке 2 состоит из четко разграниченных зон, его обработка может быть реализована как с помощью персональных ЭВМ, так и с помощью микропроцессорных средств, встроенных в измерительную установку.

Для обеспечения практической реализации способа измерения амплитуды в автоматизированном режиме был предложен алгоритм обработки изображения, получаемого устройством графического ввода. Сущность алгоритма заключается в следующем:

1. Исходное растровое цифровое представление цветного изображения, разделяется на три независимых монохромных полутоновых растровых цифровых представления изображения (в дальнейшем изображение), каждое из которых несет информацию о яркости отдельных цветовых составляющих цветного изображения – красной, зеленой, синей. Дальнейшей обработке подвергаются только два изображения, цветовые характеристики которой соответствуют цвету излучения источников света.

2. Над каждым из двух монохромных полутоновых изображений, выполняется операция бинаризации, в результате которой, каждая точка изображения представляется логическим нулем или логической единицей. Если яркость точки меньше определенного порогового значения – точка представляется логическим нулем, если больше – единицей. Значение порога бинаризации подбирается экспериментальным путем.

3. Над соответствующими точками двух изображений, полученных в результате бинаризации, выполняется логическая операция «исключающее ИЛИ». В результате такой операции получается бинарное растровое изображение, точки которого принимают значение логической единицы там, где точки исходных бинарных изображений имеют различные логические значения. Это соответствует второй зоне исходного цветного изображения. Точки принимают значения логического нуля, там, где точки исходных бинарных изображений имеют одинаковые логические значения. Это соответствует первой и третьей зонам исходного цветного изображения. После выполнения перечисленных операций, получается изображение, состоящее из черного фона и белой полосы, размеры которой соответствуют второй зоне исходного цветного изображения. На рисунке 3 представлен результат обработки изображения представленного на рисунке 2.

Дальнейшие действия по определению амплитуды колебаний заключаются в следующем:



Рисунок 3 Изображение после обработки

1. Производится определение ширины белой полосы полученного изображения. Для этого используется сканирование произвольно выбранной горизонтальной строки растра. С целью повышения точности измерений производится сканирование нескольких строк растра и осуществляется статистическая обработка, исключающая грубые ошибки. Ширина полосы определяется в элементах изображения.
2. Производится преобразование значения ширины полосы в значение амплитуды колебаний

$$A = \frac{B}{2 \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot R} \quad (1)$$

где K_1 - коэффициент линейного увеличения (кратность) микроскопа,

K_2 - коэффициент линейного увеличения объектива устройства графического ввода,

R - разрешающая способность растрового чувствительного элемента устройства графического ввода, выраженная в количестве элементов изображения на 1 миллиметр (микромметр),

B - ширина полосы, выраженная в количестве элементов изображения.

Если определение коэффициентов K_1 , K_2 , R не представляется возможным, калибровка оборудования осуществляется по образцовым линейным мерам. В этом случае амплитуда колебаний определяется выражением

$$A = \frac{1}{2} \cdot \frac{B}{B_0} \cdot b \quad (2)$$

где B_0 - ширина изображения образцовой меры, выраженная в количестве элементов изображения,

b - ширина образцовой меры, выраженная в миллиметрах (микромметрах).

Таким образом, в результате проведенной работы предложен и разработан способ измерения амплитуды колебаний излучающей поверхности ультразвуковой колебательной системы, не нуждающийся в предварительной калибровке и позволяющий в автоматическом режиме выполнять измерения в широком диапазоне частот и амплитуд колебаний,

Список использованных источников

1. Макаров Л.О. Акустические измерения в процессах ультразвуковой технологии, - М. Машиностроение 1983.
2. Барсуков Р.В., Сливин А.Н., Цыганок С.Н., Хмелев В.Н., Савин И.И., Шалунов А.В. Исследование механических колебаний в системах с высокой добротностью методом оптического стробоскопического наблюдения. Межвузовский сборник «Измерения, автоматизация и моделирования в промышленности и научных исследованиях», Бийск, 2001 г., стр. 224 – 229.