

# Автоматизация Процесса Измерения Амплитуды Колебаний Излучающей Поверхности Ультразвуковой Колебательной Системы

Г. В. Леонов, В. Н. Хмелев, И. И. Савин, Д. С. Абраменко.

Бийский технологический институт

Алтайского государственного технического университета им. И.И. Ползунова

**Аннотация** — В статье представлены результаты исследований направленных на совершенствование стробоскопического метода измерения амплитуды колебаний излучающей поверхности ультразвуковой колебательной системы. Полученные результаты позволили создать устройство автоматического контроля амплитуды и рекомендовать его для практического применения.

## 1. ВВЕДЕНИЕ

**А**МПЛИТУДА механических колебаний излучающей поверхности ультразвуковой колебательной системы является важнейшим параметром акустического воздействия технологического аппарата на обрабатываемую среду, и определяет эффективность или возможность осуществления тех или иных технологических процессов. Известно, что наибольшая эффективность процессов ультразвуковой обработки достигается, в определенном для каждого процесса, сравнительно узком диапазоне амплитуд колебаний. Поэтому измерение и контроль амплитуды колебаний имеют очень важное значение, как при проектировании, настройке, проверке и ремонте ультразвуковых технологических аппаратов, так и при измерении режимов работы во время технологического процесса. В связи с этим, совершенствование существующих и разработка новых методов и средств измерения амплитуды колебаний излучающей поверхности ультразвуковой колебательной системы является актуальной задачей.

Анализ существующих методов [1] измерения амплитуды колебаний показал, что они являются пригодными только для решения частных метрологических задач. Их общим недостатком является невозможность получения абсолютных значений измеряемой величины без осуществления предварительной калибровки под конкретный тип ультразвуковой колебательной системы. Это делает методы непригодными для использования в исследовательской и производственной практике.

## II. АНАЛИЗ НЕДОСТАТКОВ СТРОБОСКОПИЧЕСКОГО МЕТОДА КОНТРОЛЯ И ВЫЯВЛЕНИЕ ПУТЕЙ ЕГО СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ

В настоящее время широко используется стробоскопический метод измерения амплитуды колебаний, позволяющий получать абсолютные значения измеряемой величины в широком диапазоне частот колебаний без предварительной калибровки средства измерения под конкретную измерительную ситуацию.

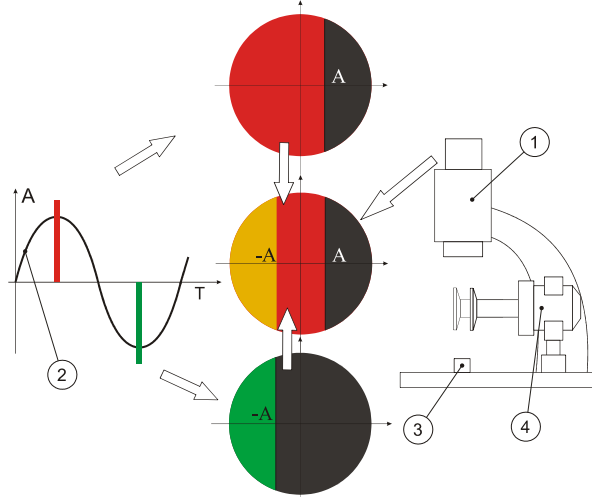
Суть метода заключается в следующем: ультразвуковая колебательная система освещается импульсами света, синхронизированными с частотой колебаний [2]. Регулируя фазу импульса относительно фазы колебаний, при наблюдении излучающей поверхности ультразвуковой колебательной системы через микроскоп с окулярной шкалой определяют, сначала одно, а затем другое граничное положение. Амплитуду колебаний определяют как половину расстояний между граничными положениями. Вместе с тем, этому методу присущи следующие недостатки:

1. наличие субъективного фактора погрешности обусловленного участием оператора в процессе измерения;
2. невозможность одновременного наблюдения двух граничных положений, что снижает точность и увеличивает время одного измерения;
3. невозможность автоматизации измерений;

Для устранения выявленных недостатков предложено осуществлять освещение излучающей поверхности ультразвуковой колебательной системы в течение одного периода колебаний, не одним, как в базовом методе, а двумя световыми импульсами, формируемыми различными источниками, отличающимися цветом излучения [3]. Частоту следования импульсов 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 наблюдении в проходящем свете формируются два быстро сменяющихся теневых изображения излучающей поверхности, сдвинутых относительно друг друга на расстояние, равное удвоенной амплитуде колебаний. Схема формирования изображения представлена на рисунке 1.

В силу инерционности восприятия человеческого глаза смена изображений не замечается. Вместо этого наблюдается одно изображение, которое можно условно разделить на три зоны. Первая зона образована наложением светлых участков изображений и окрашена в цвет, образующийся сложением их цветов. Вторая зона образована наложением светлого участка одного изображения и темного участка другого. Ее ширина равна удвоенной амплитуде колебаний. Третья зона образована наложением темных участков обоих изображений. Зоны имеют четкие границы, оба граничных положения наблюдаются одновременно.



1-микроскоп;  
2-траектория колебательного процесса;  
3-импульсные источники света;  
4-ультразвуковая колебательная система.  
Рисунок 1. Схема формирования изображения

Для реализации обработки результатов измерения в автоматическом режиме было предложено два способа регистрации световых потоков.

Первый способ заключается в преобразование световых потоков в цифровой образ, при помощи фотографического аппарата, и последующей обработки ЭВМ.

В этом случае, из-за особенностей цветовосприятия человеческого глаза, а также принятой системы представления цвета на экране ЭВМ, необходимо выбирать длины волн источников света, из условия их восприятия как красный, зеленый или синий цвета свечения.

Алгоритм обработки цифрового образа заключается в

следующем:

1. Исходный цифровой образ разделяется на три независимых полутоновых изображения, 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 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 получается бинарное изображение, точки которого принимают значение логической единицы там, где точки исходных бинарных изображений имеют различные логические значения и значения логического нуля - где точки имеют одинаковые логические значения. Т.к. обрабатываемые изображения имеют различия только во второй зоне, после выполнения перечисленных операций, получается изображение, состоящее из черного фона и белой полосы.
4. Производится определение ширины белой полосы полученного изображения. Для этого используется сканирование произвольно выбранной горизонтальной строки изображения. С целью повышения точности измерений производится сканирование нескольких строк и статистическая обработка, исключающая грубые ошибки.
5. Производится преобразование значения ширины полосы в значение амплитуды колебаний, в соответствии с выражением (1).

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

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

$b$  - ширина образцовой меры, выраженная в миллиметрах (микрометрах),

$B$  - ширина полосы, выраженная в количестве элементов изображения.

Для определения коэффициентов  $B_0$  и  $b$  производят предварительную калибровку, заключающуюся в регистрации и подсчете размера изображения,

создаваемого образцовой мерой длины.

В тоже время такому способу обработки присущи следующие особенности:

1. Точность измерения зависит от амплитуды колебаний, при этом увеличение размаха колебаний – повышает точность. Это обусловлено ограниченной разрешающей способностью регистрирующего устройства, обеспечивающего преобразование в цифровой образ.
2. Невысокое быстродействие процесса измерения амплитуды колебаний, обусловленное ограниченным быстродействием регистрирующего устройства и низкой пропускной способностью протокола передачи информации между регистрирующим устройством и ЭВМ.
3. Попытки увеличения разрешающей способности и быстродействия регистрирующего устройства обуславливают возрастание требований к вычислительной способности используемой для обработки результатов ЭВМ, что приводит к увеличению стоимости практической реализации способа и делает его экономически не обоснованным.

Вследствие чего этот метод целесообразно применять для калибровки других средств измерений амплитуды колебаний ультразвуковой колебательной системы.

Для увеличения быстродействия и точности измерений был разработан второй способ, заключающейся в том, что перекрываемый колеблющейся поверхностью световой поток пропускают через ограничительную диафрагму, и разделяется призмой на два равных световых потока. Один из них проходит через светофильтр, пропускающий только излучение, имеющее длины волн, соответствующие испускаемым первым импульсным источником света. Соответственно, второй световой поток проходит через другой светофильтр, пропускающий только излучение, имеющее длины волн, соответствующие испускаемым вторым импульсным источником света. После чего каждый световой поток падает на отдельный преобразователь, «освещенность-напряжение». Оба преобразователя должны иметь равную чувствительность, но только у первого – к излучению колебаний, длины волн которых равны излучаемым первым импульсным источником излучения, а второго преобразователя – соответственно к излучению второго источника. Амплитуду колебаний определяют по разности напряжений регистрируемых электрических сигналов.

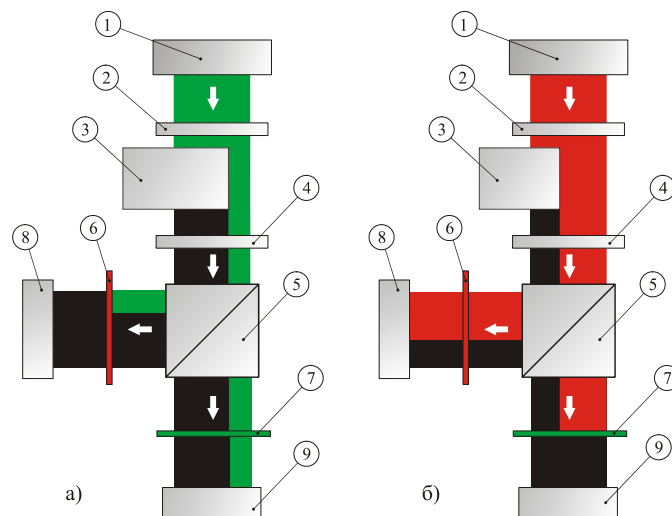
Сущность предложенного способа поясняет рисунок 2, на котором представлены схемы преобразования световых потоков, испускаемых первым (рисунок 2.а) и вторым (рисунок 2.б) импульсными источниками света, происходящие в процессе измерения и обработки результатов.

Для повышения точности и упрощения обработки результатов измерения необходимо использовать

диафрагмы с прямоугольным отверстием и ориентировать её таким образом, чтобы направление поступательных смещений колеблющегося тела совпадало с одной из сторон диафрагмы. В этом случае амплитуда колебаний вычисляется из следующего выражения:

$$A = K \cdot \Delta U; \quad (2)$$

где  $K$  – коэффициент пропорциональности, определяемый в процессе калибровки



1 – Импульсный источник света;  
2,4 – диафрагма;  
3 – колеблющееся тело;  
5 – призма;  
6,7 – светофильтр;  
8,9 – преобразователи «освещенность-напряжение».  
Рисунок 2 - Схема преобразования световых потоков

При реализации второго способа контроля необходимо решить следующие проблемы:

1. обеспечить идентичность двух пар излучателей и преобразователей «освещенность-напряжение» имеющих равную чувствительность (или наиболее близкие), но для разных частот, а так же два светофильтра в полосу пропускания которых входит эти частоты.
2. осуществлять дополнительную калибровку при замене любого элемента участвующего в преобразовании световых потоков.

Способ автоматической обработки изображения при его практической реализации позволил увеличить эффективность измерения за счет увеличения быстродействия и точности измерений. Это было достигнуто за счет замены операции регистрации, имеющей ограниченную разрешающую способность и позволяющей осуществлять регистрацию в дискретные моменты времени, операцией преобразования «освещенность-напряжение», позволяющей осуществлять преобразование, измеряемой величины, непрерывно.

### III. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Предложенные способы были практически

реализованы.

Созданные устройства позволили осуществлять измерение амплитуды колебаний излучающей поверхности ультразвуковой колебательной системы в автоматизированном режиме.

Опытная эксплуатация подтвердила требуемую точность измерения, возможность проведения процесса измерения в автоматизированном режиме, и позволила рекомендовать их для использования в научно-исследовательской и производственной практике.

#### ЛИТЕРАТУРА

- [1] Макаров Л.О. Акустические измерения в процессах ультразвуковой технологии, - М., Машиностроение, 1983
- [2] Khmelev V.N., Savin I.I. "The Optical Method For Measure An Oscillation Amplitude Of Ultrasonic Piezoelectric Vibration Systems". Siberian Russian Student Workshops and Tutorials on Electron Devices and Materials EDM'2002: Workshop Proceedings. - Novosibirsk: NSTU, 2002
- [3] Патент Российской Федерации №2004132109, Способ измерения амплитуды колебаний излучающей поверхности ультразвуковой колебательной системы, Хмелев В. Н., Савин И. И., Барсуков Р. В., Цыганок С. Н., 2004