

Министерство образования и науки Российской Федерации

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования  
«Оренбургский государственный университет»

Кафедра материаловедения и технологии материалов

Е.А. Шеин

# ОБОРУДОВАНИЕ И ТЕХНОЛОГИЯ УЛЬТРАЗВУКОВОЙ ДЕФЕКТОСКОПИИ

Рекомендовано к изданию Редакционно-издательским советом федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Оренбургский государственный университет» в качестве методических указаний для студентов, обучающихся по программам высшего профессионального образования по направлению подготовки 150700.62 Машиностроение

Оренбург  
2013

УДК 620.179.16  
ББК 34.41я7  
ШЗ9

Рецензент – профессор, доктор технических наук В.М. Кушнаренко

ШЗ9            **Шеин, Е. А.**  
Оборудование и технология ультразвуковой дефектоскопии:  
методические указания к лабораторной работе / Е. А. Шеин; Оренбург-  
ский гос. ун-т. – Оренбург: ОГУ, 2013. – 29 с.

В методических указаниях изложены краткие теоретические сведения ультразвуковой дефектоскопии, рассмотрены основные характеристики ультразвукового дефектоскопа, дан порядок выполнения практической части работы и составления отчета.

Методические указания предназначены для выполнения лабораторных работ по курсу «Методы и средства контроля состояния рабочих поверхностей» при подготовке студентов по направлению подготовки 150700 Машиностроение по профилю «Оборудование и технология повышения износоустойчивости и восстановление деталей машин и аппаратов».

УДК 620.178.162(07)  
ББК34.41я7

© Шеин Е. А., 2013  
© ОГУ, 2013

## Содержание

1 Цель работы.....	4
2 Основные сведения.....	4
2.1 Сущность методов ультразвукового контроля.....	4
2.2 Теневой метод.....	5
2.3 Зеркально-теневой метод.....	6
2.4 Эхо - импульсный метод.....	7
3 Оборудование, применяемое при ультразвуковом контроле.....	8
3.1 Ультразвуковой дефектоскоп УД2ВП45-Light.....	8
3.2 Конструкция пьезопреобразователей.....	13
3.3 Параметры развертки дефектоскопов .....	14
3.4 Параметры приемного тракта дефектоскопов.....	15
3.5 Динамический диапазон усиления, регулировка усиления.....	17
3.6 Временная регулировка чувствительности.....	17
3.7 Форма отображения эхо-импульсов на экране дефектоскопов.....	19
3.8 Погрешности измеряемых величин.....	20
3.9 Конструкция пьезопреобразователей.....	20
3.10 Стандартные образцы.....	23
4 Настройка дефектоскопа для контроля толщины.....	25
5 Порядок выполнения работы.....	26
6 Содержание отчета.....	27
7 Контрольные вопросы.....	27
Список использованных источников.....	28

## **1 Цель работы**

Изучить оборудование и технологию измерения толщины изделий ультразвуковым методом с применением универсального ультразвукового дефектоскопа УД2В-П46.

## **2 Основные сведения**

### **2.1 Сущность методов ультразвукового контроля**

Ультразвуковая дефектоскопия основывается на способности ультразвука распространяться в материале контролируемого изделия и отражаться от внутренних дефектов и границ материала.

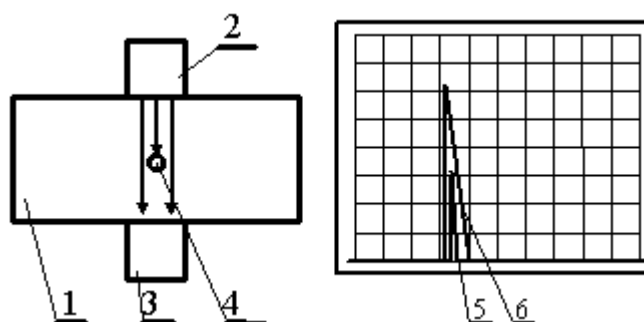
Многообразие задач, возникающих при необходимости проведения неразрушающего контроля различных изделий, привело к разработке и использованию ряда различных акустических методов контроля. Наиболее широкое распространение в практике ультразвуковой дефектоскопии нашли импульсные методы, в том числе – эхо-метод и метод звуковой тени (теневой метод). Реже применяют другие методы: резонансный, акустического импеданса, свободных колебаний и акустической эмиссии.

Наиболее распространенные методы ультразвуковой дефектоскопии, которые позволяет реализовать любой дефектоскоп общего назначения, описаны ниже.

## 2.2 Теневой метод

Теневой метод заключается в сквозном прозвучивании изделия импульсами ультразвуковых колебаний (рисунок 1). Этот метод одним из первых стал применяться для контроля металлоизделий. Для излучения и приема ультразвука используют два соосно-расположенных пьезопреобразователя (ПЭП), а о наличии дефектов судят по уменьшению амплитуды принимаемых колебаний.

Излучатель ультразвуковых волн, проверяемая деталь и приёмник образуют «акустический тракт», по которому распространяется ультразвуковая волна. Решение о дефектности проверяемой детали принимают по величине амплитуды (уровню) принятого сигнала на выходе принимающего преобразователя. Если на пути ультразвуковых волн от излучателя до приёмника нет препятствий (несплошностей), отражающих или рассеивающих ультразвуковые волны, то уровень принятого сигнала максимален. Однако он резко уменьшается или падает почти до нуля, если на пути ультразвуковой волны есть несплошность (дефект). Решение принимается при соблюдении требований соосного расположения преобразователей и стабильного их акустического контакта с контролируемой деталью.



1 - контролируемая деталь; 2, 3 - излучающий и приемный ПЭП, соответственно;  
4 - дефект; 5, 6 - донные сигналы при наличии и отсутствии дефекта.

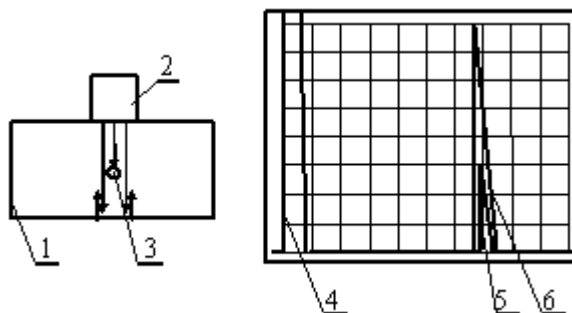
Рисунок 1 - Схема контроля теневым методом

Метод наиболее часто применяют для контроля тонкостенных изделий, так как при его использовании отсутствуют мертвые зоны. Недостатками метода являются необходимость двустороннего соосного доступа к изделию, низкая чувствительность при контроле изделий средней и большой толщины и невозможность определения глубины залегания дефекта.

### 2.3 Зеркально-теневой метод

Зеркально-теневой метод является комбинацией эхо - импульсного и теневого методов (рисунок 2). Он принципиально не отличается от теневого, но удобен, когда к детали имеется только односторонний доступ.

При контроле этим методом используют один или два ПЭП, размещенные на одной поверхности изделия. Признаком дефекта является ослабление амплитуды (уровня ультразвуковой волны), прошедшей через контролируемое изделие и отражённой от его противоположной поверхности. Размеры дефекта оценивают по уменьшению амплитуды «донного» сигнала. Этот метод применяется, например, при контроле железнодорожных рельсов, а также при контроле различных деталей (осей колесных пар вагонов, валов двигателей и т. д.) на прозвучиваемость.

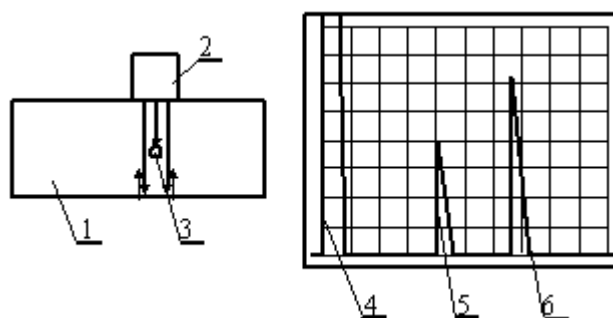


1 - контролируемая деталь; 2 - ПЭП; 3 - дефект; 4 - зондирующий импульс;  
5, 6 - донные сигналы при наличии и отсутствии дефекта.

Рисунок 2 - Схема контроля зеркально-теневым методом

## 2.4 Эхо - импульсный метод

Эхо - импульсный метод основан на явлении отражения ультразвуковых волн от поверхности дефекта и регистрации отражённых сигналов (рисунок 3).



1 - контролируемая деталь; 2 - ПЭП; 3 - дефект; 4 - зондирующий импульс;  
5 - эхо сигнал от дефекта; 6 - донный сигнал.

Рисунок 3 - Схема контроля эхо-импульсным методом

Этим методом контролируют оси колёсных пар, поковки, штамповки, прокат, сварные швы, детали из пластмассы, а также измеряют толщину изделия и оценивают структуру материала. Для этой цели в контролируемое изделие излучается последовательность коротких ультразвуковых импульсов. Излучаемые ультразвуковые импульсы называют «зондирующими». Признаком дефекта является наличие эхо-сигнала, отражённого от несплошности. Отражённые ультразвуковые импульсы несут информацию о наличии какого-то отражателя, его удалённости от излучателя и о его размерах. Размеры и местоположение дефекта оценивают по амплитуде и времени задержки (положению на экране) отражённого эхо-сигнала. Широкое распространение метода обусловлено простотой его реализации, высокой чувствительностью к выявлению многих типов дефектов и возможностью одностороннего доступа к изделию. К недостатку данного метода можно отнести наличие неконтролируемой мертвой зоны, расположенной под ПЭП. Расстояние до отражателя при контроле

эхо-методом может быть определено с высокой степенью точности. Поскольку заранее известны тип ультразвуковой волны и скорость её распространения в материале контролируемой детали, то путь, пройденный ультразвуковым импульсом от излучателя до отражателя и обратно, составляет

$$2r = Ct,$$

где  $t$  – время «задержки» принятого отражённого импульса относительно зондирующего, с;

$r$  – расстояние от излучателя до отражателя, м;

$C$  – скорость распространения ультразвуковой волны в материале, м/с.

Полное время задержки  $t$  складывается из нескольких составляющих. Такими составляющими, кроме времени пробега ультразвука в изделии, являются время пробега ультразвука через протектор (или призму) преобразователя, через слой контактной жидкости, а также время задержки в электронном блоке дефектоскопа. Однако практически величинами этих задержек можно пренебречь по сравнению с временем пробега ультразвукового импульса в контролируемом изделии.

### **3 Оборудование, применяемое при ультразвуковом контроле**

#### **3.1 Ультразвуковой дефектоскоп УД2ВП45-Light**

При проведении ультразвукового контроля используются:

- ультразвуковые дефектоскопы (УЗД);
- ультразвуковые пьезоэлектрические преобразователи (ПЭП);
- стандартные образцы предприятия (СОП);
- вспомогательные устройства, приспособления и расходные материалы.



Дефектоскоп УД2ВП45-Light предназначен для ультразвуковой дефектоскопии и толщинометрии. Вид прибора представлен на рисунке 4.

Структура меню дефектоскопа позволяет оператору изменить большое количество параметров работы и включает в себя главное и дополнительное меню. Главное меню используется для настройки прибора перед контролем, в т. ч. изменения характеристик генератора, усилителя, установки зон контроля, системы АСД и пр.



Рисунок 4 – Универсальный ультразвуковой дефектоскоп УД2ВП45-Light

Дополнительное меню позволяет оператору провести специфические регулировки – частоты посылки импульсов, задать предустановки скорости, развертки и пр. Функции меню дефектоскопа представлены в таблице 1.

Меню ОСНОВНЫЕ:

- СКОРОСТЬ – позволяет ввести скорость УЗК. Нажатие кнопки, когда функция активна, позволяет выбрать одно из четырех предварительно заданных в дополнительном меню значений;
- РАЗВЕРТКА – регулирует диапазон развертки от 3 мм до 3000 мм (в стали). Нажатие кнопки, когда функция активна, позволяет выбрать одно из четырех предварительно заданных значений;
- ЗАДЕРЖКА – позволяет сдвигать А-сигнал в окне индикатора влево или вправо;

- ОТСЕЧКА – определяет выборочный вывод А-сигнала на экран. Выводятся только сигналы с амплитудой, большей указанной в процентах от всей высоты экрана.

Таблица 1 – Функции главного меню дефектоскопа

Главное меню	Функции			
ОСНОВНЫЕ	Скорость	Развертка	Задержка	Отсечка
а-ЗОНА	а- порог	а-начало	а- ширина	а- режим
б-ЗОНА	б-порог	б-начало	б-ширина	б- режим
АСД	Режим	Звук	Свет	
ВРЧ	Точка	Положение	Усиление	Включить
ТРАКТ	Частота	Ан. Фильтр	Цифр. Фильтр	Детектор
ГЗИ	Демпфер	Ширина ЗИ	Согл. Эле- мент	Част. повт.
ДАТЧИК	Совм.режим	Р входа	Угол ввода	Протектор
ИЗМЕРЕНИЕ	Величина	Время	Импульс	Образец
ЭКРАН	Контраст	Подсветка	а – Масштаб	График ВРЧ
НАСТРОЙКИ	Загрузить	Сохранить	Загрузить рабочую	

Меню а-ЗОНА:

- а-ПОРОГ - устанавливает высоту порога а-зоны;
- а-НАЧАЛО – устанавливает начало а-зоны;
- а-ШИРИНА – устанавливает протяженность а-зоны;
- а-РЕЖИМ – определяет режим срабатывания.

АСД – если сигнал пересекает порог или если сигнал ниже порога

Меню б-ЗОНА:

- б-ПОРОГ - устанавливает высоту порога б-зоны;
- б-НАЧАЛО – устанавливает начало б-зоны;
- б-ШИРИНА – устанавливает протяженность б-зоны.

- б-РЕЖИМ – определяет режим срабатывания АСД – если сигнал пересекает порог или если сигнал ниже порога меню АСД (Автоматическая Сигнализация Дефектов):

- РЕЖИМ – определяет логику срабатывания АСД : когда сигнал только в а-зоне, только б-зоне, одновременно в обеих зонах, хотя бы в одной из зон или по АРК;

- ЗВУК – разрешает подавать звуковой сигнал при срабатывании АСД;

- СВЕТ – разрешает световой сигнал при срабатывании АСД.

Меню ВРЧ (Временная Регулировка Чувствительности):

- ТОЧКА – может быть записано до 10 точек на кривой ВРЧ;

- ПОЛОЖЕНИЕ – регулирует положение для каждой точки;

- УСИЛЕНИЕ – регулирует усиление для каждой точки;

- ВКЛЮЧИТЬ – включает ВРЧ.

Меню ТРАКТ:

- ПОЛОСА – выбирает верхний диапазон полосы частот;

- ФИЛЬТР – выбор аналогового фильтра;

- ДЕТЕКТОР – выбирает тип детектирования для отображения А-сигнала на экране;

- R ВХОДА – включение демпфирования входа приемника 50 Ом.

Меню ГЕНЕРАТОР:

- НАПРЯЖЕНИЕ – устанавливает амплитуду зондирующего импульса 50 В или 200 В;

- ЧАСТОТА ЗИ – регулирует частоту зондирующего импульса (для оптимального возбуждения преобразователя);

- ПЕРИОДОВ – регулирует число периодов импульса возбуждения (для оптимальной работы преобразователя);

- ЧАСТ. ПОВТ. – при нажатии кнопки показывает реальную частоту посылок импульсов.

#### Меню ДЕМПФЕР:

- R ВЫХОДА - позволяет демпфировать выход генератора 50 Ом;
- ДЛИТ. ЭД – позволяет выбирать длительность электрического демпфирования зондирующего импульса;
- ЗАДЕРЖ. ЭД – позволяет установить задержку перед началом включения электрического демпфера;
- L ВЫХОДА – позволяет подобрать индуктивный согласующий элемент для оптимального возбуждения ПЭП.

#### Меню ДАТЧИК:

- СОВМ.РЕЖИМ – переключает режим для работы с совмещенными или раздельно- совмещенными (раздельными) датчиками;
- УГОЛ ВВОДА – ввод угла преобразователя;
- ПРОТЕКТОР – ввод задержки времени, обусловленной прохождением сигнала в призме преобразователя, протекторе, линии задержки и пр.

#### Меню НАСТРОЙКИ:

- ЗАГРУЗИТЬ НАСТРОЙКУ – вызывает ранее сохраненную настройку из памяти;
- СОХРАНИТ НАСТРОЙКУ – сохраняет настройку в памяти;
- ЗАГРУЗИТЬ РАБОЧУЮ – вызывает рабочую настройку (настройка с которой включился прибор);
- СОХРАНИТЬ РАБОЧУЮ – сохраняет текущую рабочую настройку меню

#### ИЗМЕРЕНИЕ:

- ВЕЛИЧИНА – выбор измеряемой величины показываемой на дисплее;
- ВРЕМЯ – выбирает способ измерения времени – по пику сигнала или по фронту;
- ИМПУЛЬС – выбирает режим измерения времени от 0 до а-зоны или между зонами;
- ОБРАЗЕЦ- позволяет ввести толщину образца для расчета скорости УЗК.

#### Меню РЕЖИМ:

- Б-СКАН – вкл/выключает отображение сигнала в виде Б-скана;

- ОГИБАЮЩАЯ– вкл/выкл отображение огибающей сигнала;
- А-МАСШТАБ – вкл/выключает масштабирование сигнала в а-зоне до размеров экране («электронная лупа»).

### **3.2 Параметры зондирующего импульса**

Зондирующим импульсом (ЗИ) называется акустический импульс, излучаемый преобразователем. Форма зондирующего импульса зависит от формы приложенного напряжения и сопротивления демпфера пьезопреобразователя. Без подключенного преобразователя импульс представляет собой односторонний толчок напряжения, убывающий по экспоненциальному закону. Для повышения эффективности возбуждения пьезокристаллов используют генераторы прямоугольных импульсов.

Длина импульса определяет колебательные характеристики пьезоэлемента. Теоретически для наиболее эффективного возбуждения колебаний длительность импульса возбуждения должна быть равна половине периода основной частоты пьезопластины: для 5 МГц это 100 нс, для 2,5 МГц - 200 нс. Возбуждение импульсами несоответствующей длительности может привести к искажению формы эхо-импульсов, увеличению их длительности. Наибольшая эффективность генератора прямоугольных импульсов и возрастание амплитуды эхо-сигналов наблюдается на частотах ниже 5 МГц. На частотах выше 10 МГц разница между ударным возбуждением и возбуждением импульсами прямоугольной формы практически отсутствует.

Частота следования ЗИ является одной из основных характеристик, определяющих производительность контроля, т. е. максимальную скорость сканирования поверхности объекта контроля, при которой еще возможно выявление дефекта.

Кроме частоты следования ЗИ на реальную производительность влияют: диаметр излучающей поверхности преобразователя, условия контроля, геометрия и состояние поверхности и т. д. Поэтому такая характеристика является весьма относи-

тельной. Однако максимальная частота следования ЗИ позволяет оценить предельную производительность самого дефектоскопа в определенных условиях. Например, если условно принять ширину диаграммы направленности преобразователя на определенной глубине, равной 5 мм, тогда, учитывая, что для регистрации дефекта по ГОСТ необходимо не менее 3-х импульсов на дефект, можно приблизительно оценить максимально возможную для контроля скорость движения преобразователя.

Таким образом, при частоте следования 500 Гц максимальная производительность такого прибора составит около 50 м/мин, что вполне достаточно даже для автоматизированного контроля. Наоборот, при частоте следования 10 Гц, максимальная скорость движения составит около 1 м/мин.

Многие приборы имеют переключаемую частоту посылок ЗИ «высокая/низкая» с тем, чтобы можно было проводить контроль материалов с различным затуханием, т. к. в материалах с малым затуханием при высокой частоте посылок ЗИ может произойти наложение эхо-импульса на собственный зондирующий импульс.

Кроме того, частота следования зондирующих импульсов обычно автоматически регулируется в зависимости от длительности развертки и других параметров настройки.

### **3.3 Параметры развертки дефектоскопов**

Длительность развертки представляет собой интервал времени прохождения импульса, в течение которого отраженный эхо-сигнал может быть выведен на экран. Обычно указывается в микросекундах или миллиметрах. Говоря о развертке в миллиметрах, всегда имеют в виду какой-то конкретный материал с известной скоростью звука (обычно это сталь 45 со скоростью примерно от 5950 до 6000 м/с).

Глубина прозвучивания (т. е. максимальное расстояние в материале, при котором можно получить сигнал от отражателя с заданным соотношением сигнал/шум) зависит в первую очередь от амплитуды зондирующего импульса, от коэффициента

преобразования ПЭП, от затухания звука в материале объекта контроля, анизотропии его свойств, его геометрии и т. д.

Под минимальной разверткой понимается наименьший интервал времени, который можно растянуть на весь экран дефектоскопа. Соответственно, чем меньше такой интервал, тем более удобно работать с малыми толщинами и близко расположенными дефектами, поскольку можно отобразить малую зону контроля на весь экран. Также следует обратить внимание на нижний диапазон толщин контролируемого материала, т. е. диапазон от 2 до 3000 мм подразумевает, что развертка до 2 мм на экране дефектоскопа не будет отображаться и, следовательно, прямым ПЭП без призмы/линии задержки проконтролирована быть не может.

Еще один важный параметр дефектоскопа - величина задержки развертки. Задержка развертки - начальный временной интервал, который не будет отображаться на экране дефектоскопа. Он указывается обычно в микросекундах. Таким образом, чтобы контролировать изделие на наличие дефектов на глубине от 900 до 1000 мм достаточно установить развертку более 1 м, но тогда работать с таким сигналом совершенно неудобно, так как на экране он будет выглядеть как тонкая линия. В этом случае удобнее выставить задержку развертки порядка 300 мкс (что для стали составит как раз около 900 мм) и длительность развертки всего 100 мм.

### **3.4 Параметры приемного тракта дефектоскопов**

Под частотным диапазоном понимают минимальную и максимальную границу принимаемых приемником частот, при которых уровень амплитуды принятого сигнала падает не более, чем на заданную величину от истинного значения. Обычно такой уровень устанавливают равным 3 дБ или 6 дБ.

Усилители приемного тракта дефектоскопов делятся на резонансные (с заранее согласованными на определенную «резонансную» частоту контурами) и широкополосные (работающие во всем указанном диапазоне частот). Для получения вы-

сокой разрешающей способности при использовании высокодемпфированных преобразователей необходимо иметь дефектоскоп с широкой полосой частот, чтобы обеспечить получение эхо-импульсов с малой длительностью (не содержащих переходных колебаний) и, соответственно, возможность выявления мелких и близко расположенных дефектов. С другой стороны чрезмерное увеличение полосы частот ведет к возрастанию уровня шумов и ухудшению чувствительности, поэтому в широкополосных дефектоскопах с высокой верхней границей (от 15 до 25 МГц) как правило, устанавливают несколько частотных поддиапазонов, выбираемых пользователем.

В случае дефектоскопа с резонансным усилителем приемного тракта разрешающая способность значительно ниже, кроме того, для подключения преобразователя требуется переключение прибора на конкретную частоту, что ведет к ограничению номенклатуры используемых преобразователей в рамках заранее установленных частот приемника. Обычно это 1,25; 1,8; 2,5; 5 и 10 МГц. Для широкополосного дефектоскопа номенклатура частот ограничена только верхней и нижней границей частотного диапазона.

Немаловажной является также возможность электрического демпфирования сигнала (входа приемника и выхода генератора). Такая функция позволяет повысить разрешающую способность слабо демпфированного преобразователя электрическим способом, уменьшить размер мертвой зоны и, в отдельных случаях, повысить соотношение сигнал/шум.



### **3.5 Динамический диапазон усиления, регулировка усиления**

Один из самых основных параметров приемника дефектоскопа - это диапазон принимаемых сигналов. Динамический диапазон усиления определяет отношения максимальной и минимальной границы принимаемых сигналов. Динамический диапазон усиления и реальная величина усиления это разные понятия, т.к. в динамический диапазон входит еще и ослабление сигнала с помощью встроенных аттенюаторов и усилителей с отрицательным коэффициентом. Например, у прибора УД2В-П46 динамический диапазон 110 дБ, а реальное усиление 80 дБ. Т. е. при 0 дБ реальное усиление входящего сигнала отрицательное и равно минус 30 дБ.

### **3.6 Временная регулировка чувствительности**

Функция временной регулировки чувствительности (ВРЧ) предназначена для выравнивания амплитуд эхо-сигналов от дефектов с равной отражательной способностью, расположенных на разной глубине в контролируемом материале.

Поскольку амплитуда эхо-сигналов убывает по глубине ввиду затухания ультразвука в материале и физики звукового поля, оценивать сигналы при одинаковом усилении не имеет смысла. Для этого есть два взаимосвязанных пути:

1) выравнивание амплитуд сигналов, путем построения кривой ВРЧ. Усиление изменяется по глубине с таким расчетом, чтобы сигналы от одинаковых отражателей имели на экране одинаковую амплитуду независимо от глубины их расположения. В этом случае порог оценки может быть принят фиксированным;

2) строится кривая амплитуда-расстояние (АРК), обратная кривой ВРЧ, и все оценки сигналов производятся по отношению не к фиксированному порогу, а к кривой линии, изменяющейся по глубине.

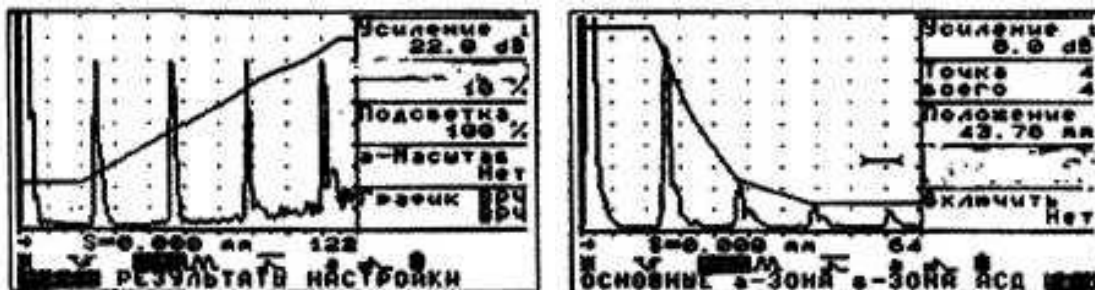


Рисунок 5 - Выравнивание амплитуд эхо-сигналов с помощью ВРЧ и контроль с помощью АРК

В случае достаточно больших зон контроля первый способ предпочтительней ввиду большего диапазона настройки, так как определение по АРК неизбежно будет ограничено отношением сигналов в пределах 20 дБ, т. е. в пределах от 10 % до 100 % высоты экрана.

Основной характеристикой ВРЧ является - глубина ВРЧ, т.е. величина, определяющая соотношение реальных амплитуд сигналов, которые можно выровнять с помощью ВРЧ.

Зачастую объект контроля имеет сложную форму, анизотропию свойств по глубине и пр., и форма кривой ВРЧ далека от прямолинейной. Тогда имеют значение еще две характеристики ВРЧ: количество точек построения кривой и максимальная крутизна кривой ВРЧ. Количество точек кривой ВРЧ, используемое на практике, редко превышает 10.

### 3.7 Форма отображения эхо-импульсов на экране дефектоскопов

На сегодняшний день существует достаточно много способов отображения сигналов. Наиболее распространенный из всех - в виде А-развертки (А-scan), т. е. двухмерное отображение изменения амплитуды на входе дефектоскопа в течении времени. Более информативны В-развертка (изображение в виде точек разной яркости, чем больше амплитуда, тем темнее точка), С-развертка, TOFD-построение и 3D-развертка. Изображение В, С и других разверток требует использования дефектоскопа совместно с компьютером, датчиками пути и пр.

В дефектоскопах отображаются, как правило, квази-В-развертки, т. е. строящиеся по времени, заданному оператором (без координатного устройства).

А-развертка в свою очередь встречается в четырех видах:

- 1) высокочастотный реальный сигнал (радиосигнал);
- 2) полностью детектированный сигнал (сумма положительной и отрицательной полуволны радиосигнала);
- 3) положительный детектированный сигнал;
- 4) отрицательный детектированный сигнал.

Однополупериодное детектирование необходимо, в основном, тогда, когда нужно точно определять время прохождения сигнала (измерение толщины стенок, локализация дефекта и пр.), так как при таком виде развертки получаются более строгие фронты импульса. Полное детектирование имеет преимущества при определении амплитуды сигналов, т. к. изображает все эхо от фазы. Радиосигнал обладает преимуществами всех остальных способов и, кроме того, незаменим тогда, когда необходимо измерять расстояние до отражателей с различной полярностью (включения с разными акустическими свойствами), для определения частоты преобразователя, а также для выявления малых отражателей вблизи больших эхо-импульсов (например, мелких подповерхностных дефектов).

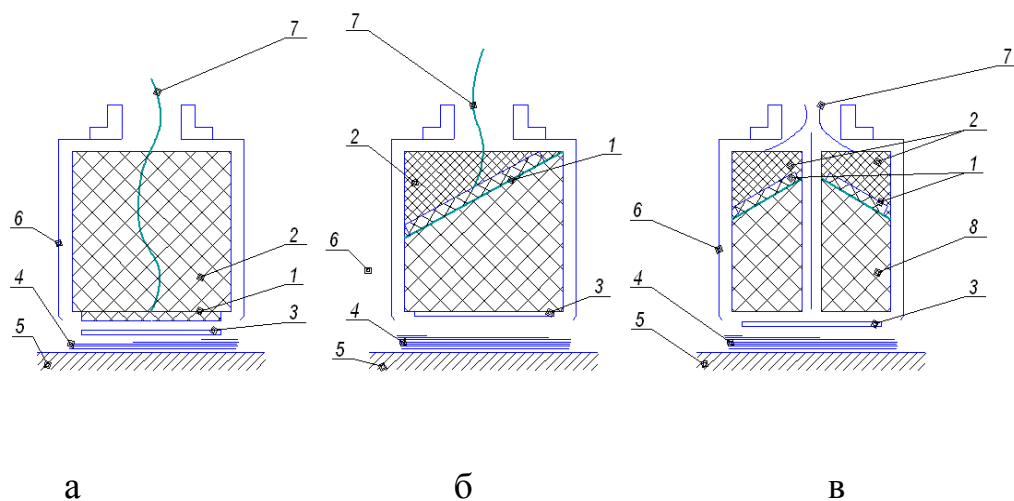
### **3.8 Погрешности измеряемых величин**

Все современные дефектоскопы измеряют только два типа величин: время прихода сигнала и его амплитуду. Остальные величины расстояние (толщина) и скорость звука являются производными от времени. Таким образом, теоретическая точность измерения прибором всех величин зависит от всего двух параметров: погрешности измерения временных интервалов и погрешности измерения амплитуды. Реальная же точность измерения зависит от большого количества факторов: температуры окружающей среды, акустического контакта, качества поверхности и т. п. Поэтому, говоря о точности измерений, обычно имеют в виду точность самого прибора, а реально достижимая точность измерений уже определяется методикой и условиями контроля.

### **3.9 Конструкция пьезопреобразователей**

Пьезоэлектрические материалы — материалы, обладающие пьезоэффектом, используются для изготовления пьезоэлементов, служащих в акустических приборах НК для преобразования электрических колебаний в упругие и упругих колебаний в электрические.

Наиболее широкое применение в ультразвуковой дефектоскопии получили контактные преобразователи. Конструкции преобразователей приведены на рисунке 6.



а – прямой, б – наклонный, в – раздельно-совмещенный.

### Рисунок 6 – Конструкция пьезопреобразователей

Пьезопластина 1 приклеена или прижата с одной стороны к демпферу 2, с другой — к протектору 3. Пьезопластину демпфер и протектор, склеенные между собой, называют резонатором. Резонатор размещен в корпусе 6. С помощью выводов 7 пьезопластину соединяют с электронным блоком дефектоскопа. Контактная жидкость (смазочный материал) 4 обеспечивает подачу упругих колебаний ультразвуковой частоты преобразователя к контролируемому изделию 5 и наоборот.

Прямые преобразователи предназначены для возбуждения продольных волн. В контактных наклонных совмещенных преобразователях для ввода ультразвуковых колебаний под углом к поверхности контролируемого изделия применяют призму 8. Эти колебания предназначены для возбуждения сдвиговых, поверхностных и нормальных волн.

Резонатор контактных раздельно-совмещенных преобразователей служит для предотвращения прямой передачи ультразвука от излучающей пьезопластины, подключенной к генератору, к приемной пьезопластине, подключенной к усилителю электронного блока дефектоскопа.

Демпфер служит для ослабления свободных колебаний пьезопластины, управления добротностью преобразователя и защиты пьезопластины от механических повреждений. Демпферы обычно изготавливают из искусственных смол (эпоксидных)

с добавками порошковых наполнителей с высокой насыпной плотностью, необходимой для получения требуемого характеристического импеданса. Для уменьшения многократных отражений демпфер выполняют в виде конуса, либо тыльную поверхность демпфера выполняют непараллельной пьезопластине, либо в материал демпфера вводят рассеиватели.

Протектор служит для защиты пьезопластины от механических повреждений и воздействия иммерсионной или контактной жидкости, согласования материала пьезопластины с материалом контролируемого изделия или средой, улучшения акустического контакта при контроле контактными способом. Материал протектора должен отличаться высокой износостойкостью и высокой скоростью звука, которая определяет необходимую его толщину. Обычно толщина протектора составляет от 0,1 до 0,5 мм. Для изготовления протекторов применяют кварц, сапфир, бериллий, сталь, твердые сплавы, минералокерамику, а также материалы на основе эпоксидных смол с порошковыми наполнителями (кварцевый песок, бериллиевый или корундовый порошок) и т. п.

Для получения произвольных углов ввода применяют универсальные (с переменным углом ввода) преобразователи, в которых с помощью простого механизма пьезоэлемент перемещают по окружности полуцилиндра либо изменяют его положение внутри призмы или локальной ванны.

В раздельно-совмещенных преобразователях призма должна удовлетворять дополнительным требованиям. Например, в толщинометрии важно, чтобы время прохождения колебаний сквозь призму не зависело от температуры, поэтому в этом случае призму изготавливают, например, из плавленого кварца, имеющего малые температурные коэффициенты линейного расширения и изменения скорости ультразвука.

Принята система обозначения ПЭП буквенно-цифровым кодом, в котором первый символ «П» обозначает преобразователь.

Второй символ - обозначение типа преобразователя. Цифра 1 - контактный; 2 - иммерсионный, 3 – контактно-иммерсионный.

Третий символ - Цифра: 1 - прямой; 2 - наклонный.

Четвертый символ – Цифра 1 - совмещенный, 2 - отдельно - совмещенный; 3 - отдельный.

Пятый символ - Буква: Н-неплоский; Ф-неплоский фокусирующий (для плоских преобразователей буква не пишется).

Шестой символ - номинальная частота, МГц.

Седьмой символ - Вид защиты пьезоэлемента (Б - бериллий, П - пленка, К - минералокерамический и т.д.).

Восьмой символ – диаметр демпфера.

### **3.10 Стандартные образцы**

Стандартные образцы предназначены для обеспечения достоверности и единообразия при проведении ультразвукового контроля на предприятии, как при серийном выпуске продукции, так и при отработке технологий производства.

Все стандартные образцы ультразвукового контроля подразделяются на государственные — ГСО, отраслевые — ОСО и стандартные образцы предприятий — СОП. Стандартные образцы в ультразвуковой дефектоскопии и толщинометрии предназначены для определения скорости распространения ультразвука затухания ультразвука или коэффициента затухания, эффективной площади дефекта, эффективной толщины материала.

Государственные стандартные образцы (СО1, СО2, СО3, СО4, СОЗР) предназначены для хранения и передачи единиц измерения скорости распространения ультразвука, затухания ультразвука, эффективной толщины и эффективной площади ультразвуковых отражателей отраслевым стандартным образцам, ультразвуковым дефектоскопам и толщиномерам.

Отраслевые стандартные образцы предназначены для измерения параметров ультразвуковых импульсных дефектоскопов (чувствительности и погрешности из-

мерения координат), получения опорного сигнала от цилиндрических отражателей при аттестации и поверке стандартных образцов предприятий.

При ультразвуковом контроле конкретных материалов, изделий и соединений, опорные сигналы для настройки ультразвуковых импульсных дефектоскопов, как правило, получают от искусственных отражателей в стандартных образцах предприятий, изготавливаемых из материалов близких по своим акустическим характеристикам (скорости распространения и коэффициенту затухания).

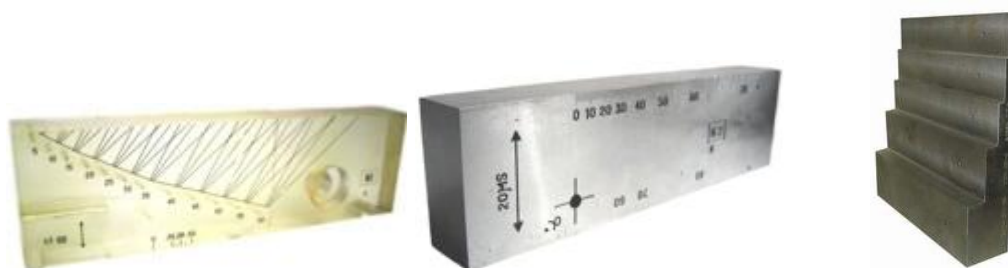


Рисунок 7 – Стандартные образцы СО1, СО2, Образец-ступенька

В диапазоне толщин до 20 мм включительно используются СОП с одним плоскодонным отражателем диаметром 5 мм.

При толщине изделий от 20 до 60 мм применяются ступенчатые СОП с тремя плоскодонными отражателями диаметром 5 мм, по эхосигналам от которых проводится выравнивание чувствительности УЗД и установка браковочного уровня.

Если толщина изделия более 60 мм для уменьшения веса ступенчатые СОП заменяются на комплект образцов СОП1, СОП2, СОП3. Кроме того, при толщине изделий от 60 до 100 мм в СОП изготавливаются плоскодонные отверстия диаметром 8 мм, а для контроля толщин более 100 мм используются плоскодонные отверстия диаметром 11 мм.

К стандартным образцам предприятия предъявляются следующие требования.

Материал СОП по акустическим характеристикам должен соответствовать материалу контролируемого изделия. Для контроля изделий из низкоуглеродистых и малолегированных сталей допускается использовать образцы, изготовленные из



сталей марок Сталь 10 – Сталь 20. Для контроля изделий из высокоуглеродистых, легированных сталей, а также сталей аустенитных классов материал СОП должен соответствовать материалу изделия.

Заготовки СОП должны проходить ультразвуковой контроль с поверхности прозвучивания плоскодонного отражателя и с боковых поверхностей. Браковочный уровень устанавливается +12 дБ от уровня собственных шумов УЗД или от уровня структурного шума (для сталей аустенитного класса). Система временной регулировки чувствительности УЗД не используется. В СОП должны отсутствовать несплошности, формирующие эхосигналы с амплитудой, превышающей данный браковочный уровень.

## **4 Настройка дефектоскопа для контроля толщины**

4.1 Устанавливаем режим работы в соответствии с выбранным преобразователем (прямой совмещенный). **Датчик → Совм. Режим = нет.**


4.2 Подключаем ПЭП к разъему дефектоскопа, устанавливаем ПЭП на образец и настраиваем параметры прибора для работы с ПЭП типа 2,5-К12 А001 (либо 5-К6 А701): «Ширина ЗИ» - 50 нс (т. е. половина периода основной частоты 2,5 МГц). **ГЗИ → ШИРИНА ЗИ = 50 нс.**

4.3 Устанавливаем широкополосный режим работы (частота тракта 10МГц). В данном режиме обеспечивается наибольшая точность измерений. **ТРАКТ → ЧАСТОТА = 10 МГц.**

4.4 Настройка развертки. Настройка проводится в соответствии с зоной контроля изделия, с тем чтобы сигналы от наименьшей возможной и наибольшей возможной толщины отображались на экране.

ПЭП устанавливается на образец с минимальной толщиной. Для регулировки положения сигнала на экране используются функции **«ОСНОВНЫЕ → РАЗВЕРТКА и ОСНОВНЫЕ → ЗАДЕРЖКА».**

ПЭП устанавливается на образец с максимальной толщиной. Положение эхо-сигнала регулируется функцией «**ОСНОВНЫЕ** → **РАЗВЕРТКА**».

4.5 Настройка зоны контроля. Включить зону контроля «а-зона» с использованием функции «**а-ЗОНА** → **а-Режим** = ». Отрегулировать начало и ширину зоны контроля так, чтобы сигналы от минимальной и максимальной толщины пересекали а-зону. Для этого используются функции «**а-ЗОНА** → **Начало**» и «**а-ЗОНА** → **Ширина**». Функцией «**а-ЗОНА** → **Порог**» устанавливается высота зоны контроля. Чем ниже порог, тем точнее проводятся измерения.

Устанавливаем значение функции меню **ИЗМЕРЕНИЕ**. «**ИЗМЕРЕНИЕ** → **Величина** = **S**, мм», «**ИЗМЕРЕНИЕ** → **Время** = по фронту», «**ИЗМЕРЕНИЕ** → **Импульс** = **а-ЗОНА**».

4.6 Устанавливаем скорость УЗК в объекте. **ОСНОВНЫЕ** → **Скорость** = **5950** м/с.

4.7 Устанавливаем ПЭП на образец известной толщины. Компенсируем задержку в призме ПЭП функцией «**ДАТЧИК** → **Протектор**», изменяя значение до момента совпадения показаний прибора и истинной толщины образца.

## **5 Порядок выполнения работы**

5.1 Настроить дефектоскоп в соответствии с пунктом 1.3 для ПЭП 2,5-К12 А001. Произвести измерение толщины образца.

5.2 Настроить дефектоскоп в соответствии с пунктом 1.3 для ПЭП5-К6 А701. Произвести измерение толщины образца.

5.3 По результатам выполненной работы заполнить таблицу 2.

Таблица 2 – Результаты измерений

Режим контроля	Теневой		Эхо	
	ПЭП	П111-2,5-К12	П111-5-К6	П111-2,5-К12
Толщина, мм				

## **6 Содержание отчета**

6.1 Цель работы.

6.2 Краткое описание сущности методов ультразвукового контроля.

6.3. Конструкция пьезопреобразователей.

6.4 Характеристика стандартных образцов.

6.5 Таблица результатов экспериментальной работы.

6.6 Выводы.

## **7 Контрольные вопросы**

7.1 Назовите основные методы ультразвуковой дефектоскопии и поясните их сущность.

7.2 Какова конструкция и принцип работы пьезоэлектрического преобразователя?

7.3 Назовите назначение и виды стандартных образцов.

7.4 Каковы основные параметры ультразвуковых дефектоскопов?

7.5 От чего зависит глубина прозвучивания?

7.6 Каково назначение функции временной регулировки чувствительности?

7.7 Назовите способы отображения эхо-импульсов на экране дефектоскопов, поясните в каких случаях применяют эти способы.

7.8 Каков порядок настройки дефектоскопа для контроля толщины?

## **Список использованных источников**

1 Троицкий, В. А. Ультразвуковой контроль: дефектоскопы, нормативные документы, стандарты по УЗК / В. А. Троицкий. – Киев: Феникс, 2006. – 224 с. – ISBN 966-651-275-0.

2 Клюев, В. В. Приборы для неразрушающего контроля материалов и изделий: справочник : в 2-х книгах / В. В. Клюев. – М.: Машиностроение, 1986. – Кн. 2 – 352 с.