

**Методические указания.**  
**Расчет эквивалентной площади и эквивалентных размеров**  
**отражателей в ультразвуковом контроле изделий.**

Разработчик:

\_\_\_\_\_ Специалист 3 уровня  
по акустическим методам НК,  
к.ф.-м.н. Бархатов В.А.

Екатеринбург  
2009 г.

## ОГЛАВЛЕНИЕ

1. Введение.....	2
2. Теоретические основы.....	2
3. Методики расчета эквивалентной площади и размеров отражателей, коррекция чувствительности ультразвукового дефектоскопа.....	7
3.1. Определение эквивалентной площади донной поверхности. Прозвучивание прямым преобразователем.....	7
3.2. Определение эквивалентной площади бокового цилиндрического отверстия.....	9
3.3. Определение эквивалентной площади и эквивалентного диаметра сферического отражателя.....	10
3.4. Определение эквивалентной площади углового отражателя. Коррекция чувствительности ультразвукового дефектоскопа.....	11
Список литературы.....	12

### Список сокращений

НК – неразрушающий контроль,  
 УЗД – ультразвуковой дефектоскоп,  
 ПЭП – пьезоэлектрический преобразователь,  
 СОП – стандартный образец предприятия.

## 1. Введение

Настоящий документ устанавливает методики определения эквивалентной площади, эквивалентного размера отражателей и методики расчета соотношения амплитуд эхосигналов в различных вариантах прозвучивания отражателей.

## 2. Теоретические основы

В данном разделе приводятся сведения из теории, необходимые для понимания способов расчета размеров отражателей, создающих нужные уровни амплитуды эхосигналов.

Стабильная, хорошо воспроизводимая связь амплитуды эхосигнала с расстоянием до дефекта наблюдается при его прозвучивании в дальней зоне ультразвукового поля преобразователя. Сразу необходимо отметить, что все соотношения данной методики можно применять только в случае, когда выполняется это условие.

Законы изменения амплитуд эхосигналов от расстояния до отражателя в различных вариантах прозвучивания представлены в Табл. 1.

Табл. 1. Теоретические зависимости амплитуды эхосигнала от расстояния до отражателя.

Преобразователь	Отражатель	Формула, тип кривой	Примеры
ПЭП объемных волн	Компактный	$\frac{A_1}{A_2} = \text{Exp}(-2\delta \cdot \Delta R) \left( \frac{R_2}{R_1} \right)^2$ <p style="text-align: center;">Тип кривой <math>R^{-2}</math></p>	Прозвучивание прямым или наклонным ПЭП, Отражатель небольшого размера – сфера, пора, шлаковое включение, плоскодонное отверстие, зарубка.

	Протяженный	$\frac{A_1}{A_2} = \text{Exp}(-2\delta \cdot \Delta R) \left( \frac{R_2}{R_1} \right)^{3/2}$ <p style="text-align: center;">Тип кривой <math>R^{-3/2}</math></p>	Прозвучивание прямым или наклонным ПЭП, Длинный отражатель небольшого поперечного размера – боковое цилиндрическое отверстие, паз, непровар.
	Бесконечный	$\frac{A_1}{A_2} = \text{Exp}(-2\delta \cdot \Delta R) \left( \frac{R_2}{R_1} \right)$ <p style="text-align: center;">Тип кривой <math>R^{-1}</math></p>	Прозвучивание прямым ПЭП, отражатель – донная поверхность. Прозвучивание наклонным ПЭП, отражатель – угол образца.
ПЭП поверхностных волн (волн Рэлея) или в частном случае ПЭП волн в тонких пластинах (волны Лэмба)	Компактный	$\frac{A_1}{A_2} = \text{Exp}(-2\delta \cdot \Delta R) \left( \frac{R_2}{R_1} \right)$ <p style="text-align: center;">Тип кривой <math>R^{-1}</math></p>	ПЭП волн Рэлея, отражатель небольшого размера на поверхности – трещина, капля масла, вертикальное отверстие. ПЭП волн Лэмба, отражатель небольшого размера на поверхности или в сечении пластины – трещина, капля масла, вертикальное отверстие, пора.
	Протяженный	$\frac{A_1}{A_2} = \text{Exp}(-2\delta \cdot \Delta R) \left( \frac{R_2}{R_1} \right)^{1/2}$ <p style="text-align: center;">Тип кривой <math>R^{-1/2}</math></p>	ПЭП волн Рэлея, отражатель на поверхности пересекает весь ультразвуковой пучок – торец изделия, длинная трещина, паз. ПЭП волн Лэмба, отражатель на поверхности или в сечении пластины пересекает весь ультразвуковой пучок – торец изделия, длинная трещина, паз, волосовина.
ПЭП волн в прутках или в проволоке	Нет деления на типы отражателей	$\frac{A_1}{A_2} = \text{Exp}(-2\delta \cdot \Delta R)$ <p style="text-align: center;">Тип кривой <math>R^0 = 1</math></p>	Любая акустическая неоднородность на поверхности или в сечении изделия.

Формулы Табл. 1. в качестве аргументов содержат следующие величины:

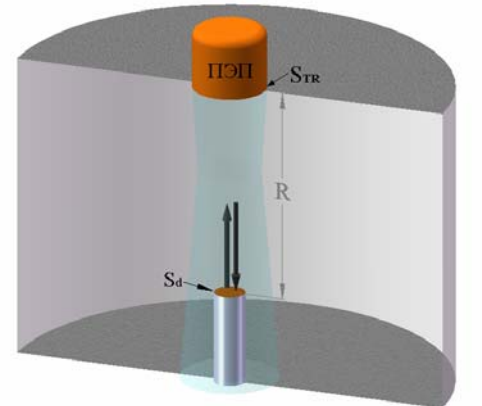
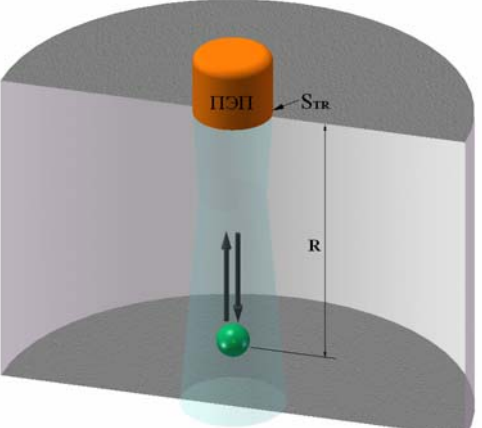
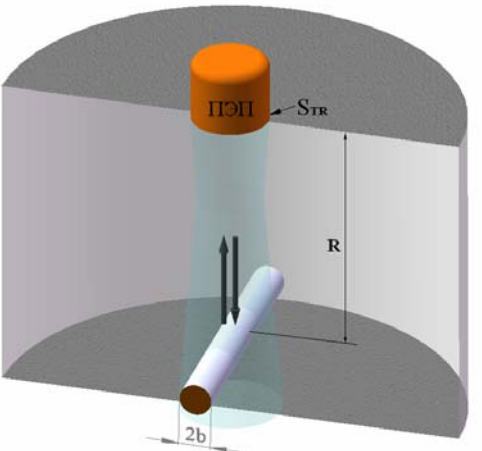
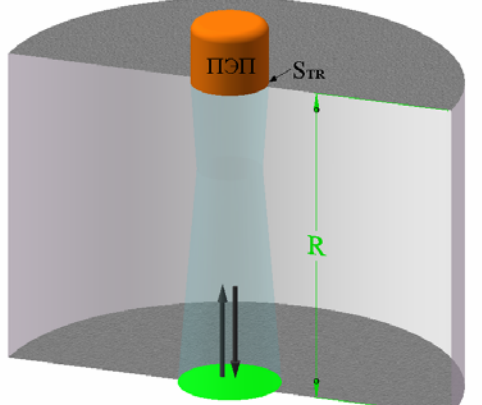
$A_1, A_2$  – амплитуды эхосигналов от одинаковых отражателей, расположенных на расстоянии от преобразователя  $R_1, R_2$  соответственно,

$\Delta R = R_2 - R_1$  – разность расстояний до отражателей,

$\delta$  - коэффициент затухания, учитывающий поглощение и рассеяние волн в материале.

Известны также более подробные выражения для амплитуд эхосигналов, которые имеют общее название формулы акустического тракта [1-3]. Они представлены в Табл.2. Формулы акустического тракта получены путем решения задачи интерференции волн при их излучении и отражении от несплошностей различной формы.

Табл. 2. Формулы акустического тракта.

Тип отражателя	Эскиз, схема прозвучивания	Формула акустического тракта
Плоскодонный (диск)		$\frac{A}{A_0} = \text{Exp}(-2\delta R) S_{TR} \frac{S_d}{\lambda^2 R^2}$
Сферический $\varnothing=D$		$\frac{A}{A_0} = \text{Exp}(-2\delta R) S_{TR} \frac{D}{\lambda R^2}$
Цилиндрический $\varnothing=2b$ (боковое сверление)		$\frac{A}{A_0} = \text{Exp}(-2\delta R) S_{TR} \frac{1}{2\lambda} \sqrt{\frac{b}{R^3}}$
Бесконечный (донная поверхность)		$\frac{A}{A_0} = \text{Exp}(-2\delta R) S_{TR} \frac{1}{2\lambda R}$

В выражениях Табл.2 приняты следующие обозначения:

$S_{TR}$  - площадь ультразвукового преобразователя,

$R$  - расстояние между преобразователем и отражателем,

$\delta$  - коэффициент затухания, учитывающий поглощение и рассеяние волн в материале,

$\lambda$  - длина волны,

$A_0$  - амплитуда колебаний акустического зондирующего импульса на поверхности преобразователя (в момент излучения),

$A$  - амплитуда колебаний волн, отраженных от несплошности, и пришедших на поверхность преобразователя (в момент приема эхосигнала).

### Есть несколько ограничений в применении формул акустического тракта.

1. Формулы Табл.2 можно использовать только для сравнения амплитуд сигналов, поскольку величина  $A_0$  (амплитуда колебаний зондирующего импульса) не может быть проконтролирована в УЗД. Сравнение должно проводиться при условии, что используется один и тот же ПЭП, тогда величина  $A_0$  одинакова и ее можно исключить.

2. В формулах акустического тракта не учитывается явление дифракции волн при излучении, отражении и приеме. Это обстоятельство ограничивает минимальные размеры преобразователя и отражателя. Они должны быть больше  $\lambda/2$ .

3. Формулы применимы, если прозвучивание отражателей проводится в дальней зоне ультразвукового поля преобразователя. Выражения в Табл.2 являются асимптотическими аппроксимациями, т.е. они получены из условия, что расстояние между ПЭП и отражателем бесконечно большое по сравнению с длиной волны, размером преобразователя и характерным размером отражателя. Тем не менее, расчеты по формулам акустического тракта обладают достаточной для практики точностью.

Рассмотрим некоторые особенности определения расстояния между преобразователем и отражателем, Рис.1. Отсчет расстояния производится от отражающей поверхности дефекта (точка **F**) до точки мнимого фокуса ультразвукового поля ПЭП (точка **0**). В случае, если используется наклонный преобразователь расстояние **R** складывается из двух величин: **R1** - расстояние от поверхности дефекта до точки ввода ПЭП (**F-V**) и **R2** - расстояние от точки ввода до точки мнимого фокуса (**V-0**).

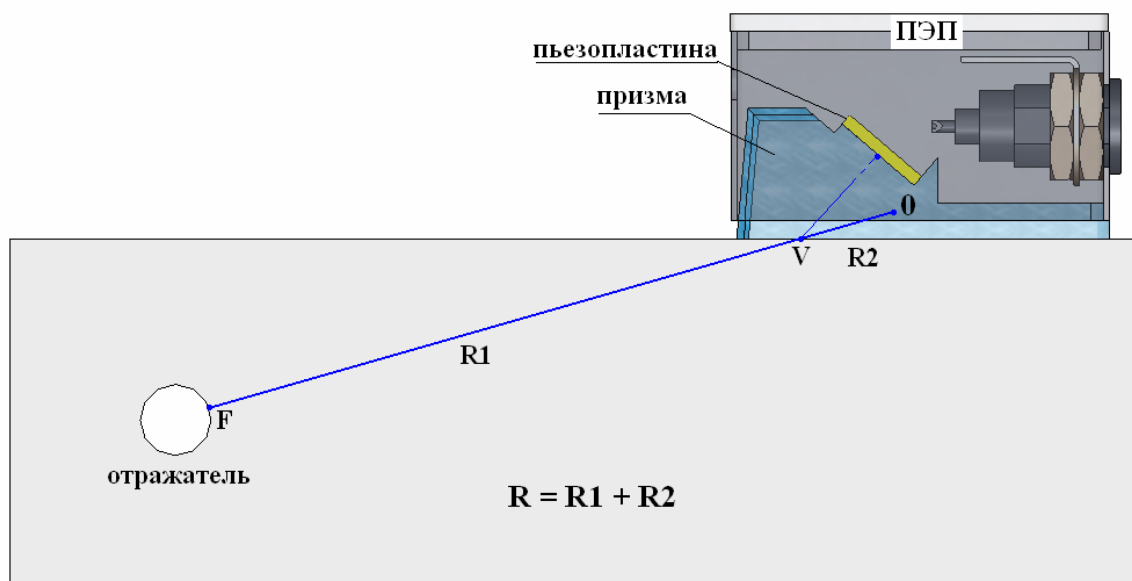


Рис.1. Определение расстояния между отражателем и ультразвуковым наклонным преобразователем.

$$R = R1 + R2$$

Расстояние между преобразователем и отражателем **R** можно также определить с помощью дефектоскопа. Для этого необходимо измерить задержку эхосигнала относительно зондирующего импульса **T**, а затем вычислить расстояние по формуле

$$R = \frac{1}{2} C \cdot T,$$

где: **C** – скорость ультразвуковых волн в материале изделия. Данные замечания справедливы и для прямого совмещенного преобразователя.

В ультразвуковом контроле широко используется понятие эквивалентной площади дефекта, которое представляет собой меру выявляемости или разбраковки несплошностей. Дадим определение.

**Эквивалентная площадь дефекта** (отражателя) это площадь плоскодонного отражателя, расположенного на той же глубине, что и дефект, ориентированного перпендикулярно падающему ультразвуковому пучку и создающего такой же по амплитуде эхосигнал.

Другими словами дефект (отражатель) заменяется плоскодонным отражателем, а эхосигнал на экране дефектоскоп остается одинаковым. По данным, получаемым от УЗД, такие отражатели эквивалентны (неразличимы).

Также часто используется понятие эквивалентного размера дефекта (отражателя). Это характерный размер дефекта, который имеет определенную эквивалентную площадь.

Эквивалентная площадь или эквивалентный размер есть универсальные характеристики описания отражателей. По значению эквивалентной площади можно определить размеры отражателей, создающих тот или иной уровень амплитуды эхосигнала. Кроме того, если указать амплитудный браковочный уровень в виде эквивалентной площади, то в стандартных образцах предприятия допускается использование любых типов контрольных отражателей, главное, чтобы они имели нужную эквивалентную площадь. Решение таких типичных задач представлено в настоящей инструкции.

В области ультразвукового контроля сварных соединений широкое распространение получил угловой отражатель или зарубка, Рис.2. Эхосигнал от него формируется дважды отраженными лучами, в создании эхосигнала участвует вертикальная стенка зарубки и часть прилегающей донной поверхности. Угловой отражатель имеет специфические особенности. Он является компактным, амплитуда эхосигнала от него меняется с расстоянием по закону  $R^{-2}$ . Кроме того, амплитуда эхосигнала от зарубки пропорциональна площади вертикальной стенки  $b \cdot h$ .

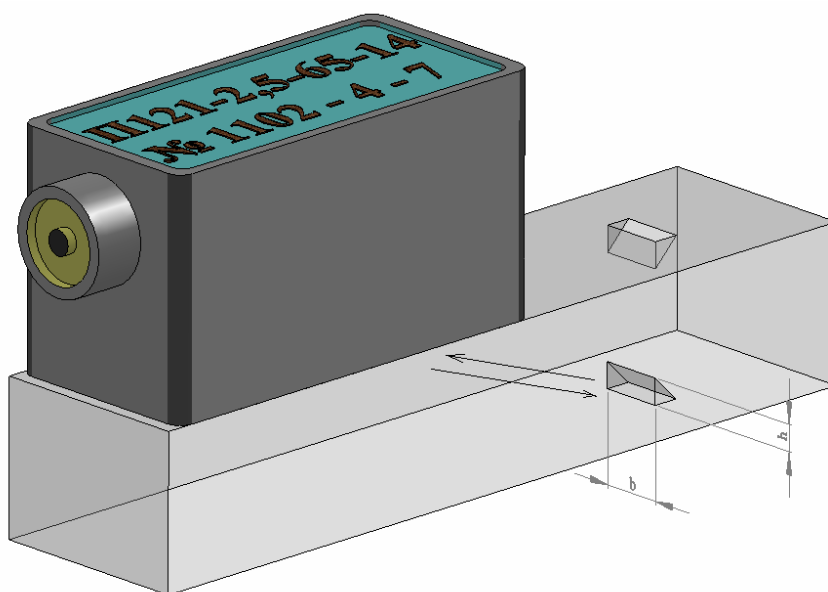


Рис.2. Угловой отражатель (зарубка). Схема прозвучивания.

В ГОСТ 14782-86 сформулированы следующие требования к угловому отражателю. Высота  $h$  и ширина  $b$  отражателя должны быть больше длины волны и отношение размеров  $h/b$  должно находиться в пределах 0,5 – 4,0. Эквивалентная площадь углового отражателя вычисляется по формуле

$$S_N = N \cdot (h \cdot b). \quad (1)$$

Где  $(h \cdot b)$  - площадь вертикальной стенки зарубки,  $h$  - высота,  $b$  - ширина зарубки,  $N$  - коэффициент, зависящий от угла прозвучивания.

График изменения коэффициента  $N$  от угла ввода ультразвукового преобразователя показан на Рис.3. Минимум эквивалентной площади зарубки (коэффициента  $N$ ) при углах прозвучивания около  $65^\circ$  связан с тем, что в данных условиях на вертикальной стенке зарубки происходит интенсивная трансформация поперечных волн в продольные.

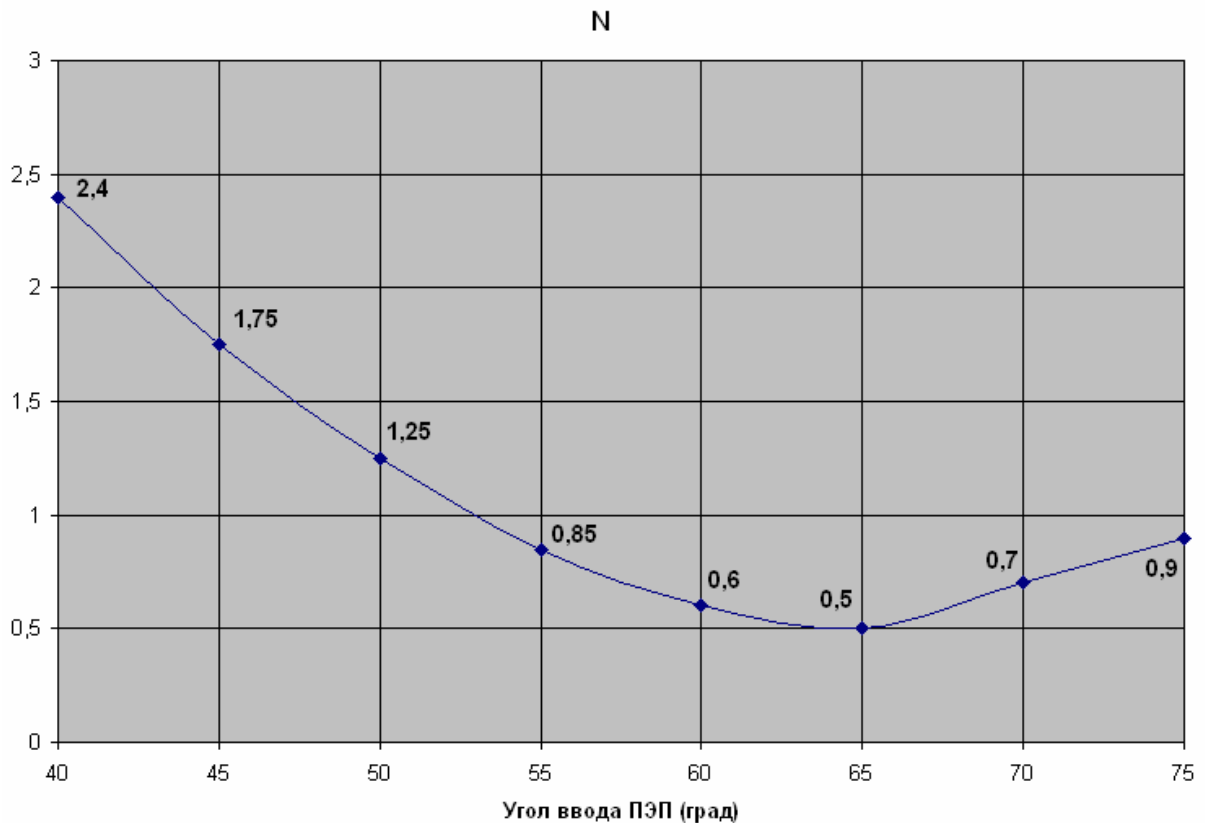


Рис.3. Зависимость коэффициента  $N$  от угла ввода ультразвукового наклонного преобразователя.

### 3. Методики расчета эквивалентной площади и размеров отражателей, коррекция чувствительности ультразвукового дефектоскопа

В ультразвуковом неразрушающем контроле существует целый ряд задач сопоставления норм браковки, размеров отражателей, дефектов, в которых необходимо выполнять расчеты эквивалентной площади, эквивалентных размеров или определять отношение амплитуд эхосигналов. Решение таких типичных задач представлено ниже.

#### 3.1. Определение эквивалентной площади донной поверхности. Прозвучивание прямым преобразователем

Задача ставится следующим образом. Изделие толщиной  $R$  прозвучивается прямым преобразователем, тип П111. На развертке ультразвукового дефектоскопа формируется донный эхосигнал. Необходимо определить, какова эквивалентная площадь донной поверхности.

Воспользуемся формулами акустического тракта для отражателя в виде диска и бесконечного отражателя (см. Табл. 2). Согласно определению эквивалентной площади амплитуда донного эхосигнала равна амплитуде эхосигнала от диска, расположенного на той же глубине  $R$ . Следовательно, правые части уравнений равны, а также равны и левые части этих уравнений. Откуда получим

$$\frac{A}{A_0} = \text{Exp}(-2\delta R) S_{TR}^2 \frac{S_d}{\lambda^2 R^2} = \text{Exp}(-2\delta R) S_{TR}^2 \frac{1}{2\lambda R}.$$

Теперь, после небольших сокращений, запишем простую формулу.

$$S_{\text{ЭКВ.Д}} = \frac{1}{2} \lambda R \quad (3.1)$$

Здесь, вместо величины  $S_d$ , введено обозначение эквивалентной площади донной поверхности  $S_{\text{ЭКВ.Д}}$ . Видно, что эквивалентная площадь донной поверхности увеличивается с толщиной изделия. Это связано с различием зависимостей амплитуды эхосигнала от расстояния. Плоскодонный отражатель является компактным, закон уменьшения амплитуды  $R^{-2}$ , а донная поверхность – бесконечный отражатель, изменение амплитуды происходит по закону  $R^{-1}$ .

Величину  $S_{\text{ЭКВ.Д}}$  нужно понимать как максимальную площадь диска, выявляемого на заданной глубине. Действительно, если диск имеет площадь больше  $S_{\text{ЭКВ.Д}}$ , то амплитуда эхосигнала уже не возрастает, эхосигнал формируется только от части его поверхности.

Рассмотрим пример. Пусть используется ультразвуковой преобразователь П111-5,0-К8 для исследования стального листа толщиной 40мм. Скорость продольных волн в стали  $C=5940\text{м/с}$ .

Длина волны в материале

$$\lambda = \frac{C_L}{F} = \frac{5940}{5 * 10^6} = 1,19\text{мм}.$$

Эквивалентная площадь донной поверхности составляет

$$S_{\text{ЭКВ.Д}} = \frac{1}{2} \lambda R = 0,5 * 1,19 * 40 = 23,8\text{мм}^2$$

Далее несколько усложним задачу. Предположим нужно установить браковочный уровень чувствительности соответствующий эквивалентной площади  $S_{\text{БР}20} = 5\text{мм}^2$  в середине толщины листа, т.е. на глубине 20мм. При этом в качестве опорного уровня амплитуды используем амплитуду донного эхосигнала  $S_{\text{ЭКВ.Д}} = 23,8\text{мм}^2$ .

Известно, что амплитуда эхосигнала от плоскодонного отражателя пропорциональна его площади, а от расстояния амплитуда меняется по закону  $R^{-2}$ . Задачу решим в два этапа.

1. Определим на сколько децибел отличается амплитуда донного эхосигнала  $A_{\text{Д}40}$  и амплитуда эхосигнала  $A_{\text{БР}40}$  полученного от диска площадью  $S_{\text{БР}40} = 5\text{мм}^2$ , расположенного на глубине донной поверхности 40мм. Очевидно, отношение амплитуд равно отношению эквивалентных площадей отражателей.

$$\frac{A_{\text{БР}40}}{A_{\text{Д}40}} = \frac{S_{\text{БР}40}}{S_{\text{ЭКВ.Д}}}$$

Выразим это соотношение в децибелах

$$20\text{Log}\left(\frac{A_{\text{БР}40}}{A_{\text{Д}40}}\right) = 20\text{Log}\left(\frac{5}{23,8}\right) = -13,5\text{дБ}$$



Знак минус показывает, что амплитуда эхосигнала браковочного уровня на глубине 40мм  $A_{БР40}$  меньше донного эхосигнала  $A_{Д40}$  на 13,5дБ.

2. Найдем изменение амплитуды браковочного уровня при переходе с глубины 40мм на глубину 20мм. Будем пренебрегать затуханием волн в материале и используем закон уменьшения амплитуды с расстоянием  $1/R^2$ , тогда получим

$$\frac{A_{БР20}}{A_{БР40}} = \frac{1/20^2}{1/40^2} = 4.$$

Выразим это соотношение в децибелах

$$20\text{Log}\left(\frac{A_{БР20}}{A_{БР40}}\right) = 20\text{Log}(4) = +12,0\text{дБ}.$$

В итоге общее изменение амплитуды от донного эхосигнала (глубина 40мм) до браковочного уровня на глубине 20мм составляет

$$20\text{Log}\left(\frac{A_{БР20}}{A_{Д40}}\right) = 20\text{Log}\left(\frac{A_{БР40}}{A_{Д40}}\right) + 20\text{Log}\left(\frac{A_{БР20}}{A_{БР40}}\right) = -13,5 + 12,0 = -1,5\text{дБ}$$

Представленный способ расчета позволяет создать методику «безэталонной» настройки чувствительности ультразвукового дефектоскопа. В изделии находят бездефектную область, в которой максимальна амплитуда донного эхосигнала. Фиксируют этот уровень амплитуды и, затем, корректируют чувствительность УЗД чтобы установить браковочный уровень для нужной глубины залегания дефекта.

### 3.2. Определение эквивалентной площади бокового цилиндрического отверстия

Вспользуемся формулами акустического тракта для плоскодонного и цилиндрического отражателей (см. Табл. 2). Согласно определению эквивалентной площади амплитуда эхосигнала от цилиндра должна быть равна амплитуде эхосигнала от диска, расположенного на той же глубине R. Следовательно, выражения для амплитуд равны между собой. Откуда получим

$$\frac{A}{A_0} = \text{Exp}(-2\delta R) S_{TR}^2 \frac{S_d}{\lambda^2 R^2} = \text{Exp}(-2\delta R) S_{TR}^2 \frac{1}{2\lambda} \sqrt{\frac{b}{R^3}}.$$

Теперь, после небольших сокращений, запишем конечную формулу.

$$S_{\text{ЭКВ.Ц}} = \frac{\lambda}{2} \sqrt{Rb} \quad (3.2)$$

Здесь, вместо величины  $S_d$ , введено обозначение эквивалентной площади цилиндрического отверстия  $S_{\text{ЭКВ.Ц}}$ . Отметим, что эквивалентная площадь  $S_{\text{ЭКВ.Ц}}$  увеличивается с глубиной залегания по закону  $\sqrt{R}$ . Это связано с различием в зависимостях уменьшения амплитуды от расстояния – плоскодонное отверстие является компактным отражателем, закон  $1/R^2$ , а боковое цилиндрическое отверстие – протяженный отражатель, закон  $1/R^{3/2}$ .

В качестве примера найдем эквивалентную площадь бокового цилиндрического отверстия  $\varnothing 6$  мм в образце СО-2. Пусть используется наклонный преобразователь П121-2,5-50<sup>0</sup>- $\varnothing 14$ . Образец СО-2 прозвучивается со стороны основной шкалы (глубина залегания отверстия 44мм).

Вначале найдем расстояние между отверстием  $\varnothing 6$  и преобразователем (см. П2, Рис.1). Был проведен эксперимент. С помощью дефектоскопа найдено время задержки эхосигнала от

бокового цилиндрического отверстия  $T = 54,2$  мкс. Скорость поперечных волн в стали  $C_T = 3260$  м/с. Вычисляем расстояние

$$R = \frac{1}{2} C_T \cdot T = \frac{1}{2} 3260 \cdot 54,2 \cdot 10^{-6} = 88,3 \text{ мм.}$$

Далее найдем длину волны

$$\lambda = \frac{C_T}{F} = \frac{3260}{2,5 \cdot 10^6} = 1,3 \text{ мм.}$$

Эквивалентную площадь вычисляем по формуле (3.2), радиус цилиндра  $b = 3$  мм,

$$S_{\text{ЭКВ.Ц}} = \frac{\lambda}{2} \sqrt{R \cdot b} = \frac{1,3}{2} \sqrt{88,3 \cdot 3} = 10,58 \text{ мм}^2.$$

### 3.3. Определение эквивалентной площади и эквивалентного диаметра сферического отражателя

Также, как и предыдущих случаях, амплитуда эхосигнала от плоскостного отражателя равна амплитуде эхосигнала от сферы, запишем

$$\frac{A}{A_0} = \text{Exp}(-2\delta R) S_{TR}^2 \frac{S_d}{\lambda^2 R^2} = \text{Exp}(-2\delta R) S_{TR}^2 \frac{D}{\lambda R^2}.$$

Сократив повторяющиеся величины, получим

$$D_{\text{ЭКВ.СФ}} = \frac{S_d}{\lambda} \quad (3.3)$$

Видно, что эквивалентный диаметр сферического отражателя не зависит от глубины его залегания, так как диск и сфера являются компактными отражателями, они имеют одинаковую зависимость амплитуды эхосигнала от расстояния.

Полученную формулу легко преобразовать для вычисления эквивалентной площади сферического отражателя

$$S_{\text{ЭКВ.СФ}} = D \cdot \lambda.$$

Рассмотрим пример. В методике ультразвукового контроля теплоэнергетического оборудования РД 34.17.302-97 (ОП 501 ЦД - 97) нормы браковки по амплитуде эхосигналов выражены в виде эквивалентной площади дефекта. В частности при контроле сварных швов толщиной 26-40 мм указана предельная эквивалентная площадь  $7 \text{ мм}^2$ . Выясним, какой размер пор (сферических пустот) соответствует данному уровню браковки.

Прозвучивание таких швов как правило выполняется наклонным преобразователем с частотой 2,5 МГц и углом ввода  $50^\circ$  или  $65^\circ$ . На глубине 26 мм и более прозвучивание металла осуществляется в дальней зоне ультразвукового поля ПЭП, поэтому можно воспользоваться соотношениями, полученными из формул акустического тракта.

Вначале определим длину поперечных волн, излучаемых данным преобразователем (скорость звука в стали 3260 м/с).

$$\lambda = \frac{C_T}{F} = \frac{3260}{2,5 \cdot 10^6} = 1,3 \text{ мм}$$

Теперь нетрудно найти диаметр поры

$$D_{\text{ЭКВ.СФ}} = \frac{S_d}{\lambda} = \frac{7}{1,3} = 5,4 \text{ мм}$$

### 3.4. Определение эквивалентной площади углового отражателя. Коррекция чувствительности ультразвукового дефектоскопа.

Эквивалентную площадь углового отражателя определяют по формуле (1). Запишем ее еще раз

$$S_N = N \cdot (h \cdot b). \quad (3.4)$$

Рассмотрим задачу определения размеров зарубки, которая реализует необходимую эквивалентную площадь. Данная проблема возникает при изготовлении стандартных образцов предприятия.

Предположим нужно сделать СОП для контроля стыковых сварных швов толщиной 16мм по инструкции СТО Газпром 2-2.4-083-2006 [5]. Согласно этому документу контроль выполняется наклонным преобразователем П121-2,5-65<sup>0</sup>, максимально допустимая эквивалентная площадь несплошностей 2,5мм<sup>2</sup> (уровень качества «В» и «С»).

По графику на Рис.3 определяем, что для угла ввода ПЭП 65<sup>0</sup> коэффициент  $N=0,5$ . Теперь, из выражения (3.4) находим площадь вертикальной стенки зарубки

$$h \cdot b = \frac{S_N}{N} = \frac{2,5}{0,5} = 5 \text{ мм}^2$$

Далее, учитываем ограничения на соотношение размеров зарубки  $h/b = 0,5-4,0$  и выбираем  $h=2,0\text{мм}$ ,  $b=2,5\text{мм}$ . В заключение нужно проверить, что размеры зарубки больше длины волны. Скорость поперечных волн в стали составляет  $C_T = 3260 \text{ м/с}$ , частота преобразователя  $F = 2,5 \text{ МГц}$

$$\lambda = \frac{C_T}{F} = \frac{3260}{2,5 \cdot 10^6} = 1,3 \text{ мм}$$

Иногда возникает проблема замены стандартных образцов с зарубками. Например, нужно выполнить контроль сварного шва толщиной 12мм в грузоподъемном механизме по инструкции РД РОСЭК 001-96 [6]. В лаборатории НК нет образца по данной инструкции, зато есть СОП толщиной 12мм с зарубками 2,0\*1,5 мм<sup>2</sup>, предназначенный для контроля других объектов.

Инструкция РД РОСЭК 001-96 предписывает проводить настройку браковочного уровня УЗД по эхосигналам от зарубок 2,5\*2,0 мм<sup>2</sup>. Воспользуемся свойством углового отражателя, что амплитуда эхосигнала от него пропорциональна площади вертикальной стенки. Найдем отношение амплитуд эхосигналов от зарубок 2,5\*2,0 мм<sup>2</sup> и 2,0\*1,5 мм<sup>2</sup>.

$$\frac{A_{2,5*2,0}}{A_{2,0*1,5}} = \frac{2,5 \cdot 2,0}{2,0 \cdot 1,5} = 1,67$$

Выразим это отношение в децибелах

$$20 \cdot \lg \left( \frac{A_{2,5*2,0}}{A_{2,0*1,5}} \right) = 20 \cdot \lg(1,67) = 4,4 \approx 4 \text{ дБ}$$

Теперь понятно, как использовать имеющийся СОП. Необходимо провести настройку опорного уровня чувствительности по эхосигналам от зарубок 2,0\*1,5 мм<sup>2</sup> в имеющемся образце, а затем нужно уменьшить чувствительность УЗД на 4 дБ и тогда получим браковочную чувствительность по РД РОСЭК 001-96.

Рассмотрим немного более сложный случай. Необходимо провести ультразвуковой контроль сварного шва толщиной 36мм в трубопроводе острого пара (на электростанции). В наличии имеется СОП тоже толщиной 36мм с зарубками 3,0\*2,0мм<sup>2</sup>.

Теплоэнергетическое оборудование контролируют по инструкции РД 34.17.302-97 (ОП №501 ЦД - 97), где указано, что в сварных швах толщиной от 26 до 40мм допускаются несплошности с эквивалентной площадью не более 7 мм<sup>2</sup>. Прозвучивание шва толщиной 36мм обычно производится преобразователем П121-2,5-50<sup>0</sup>.

Определим площадь зарубки, по которой должна выполняться настройка браковочного уровня. По графику Рис.3. находим  $N=1,25$ . Найдем площадь вертикальной стенки зарубки

$$h \cdot b = \frac{S_N}{N} = \frac{7}{1,25} = 5,6 \text{ мм}^2.$$

В наличие имеется СОП с зарубками площадью  $3,0 \cdot 2,0 = 6,0 \text{ мм}^2$ . Определим отношение амплитуд эхосигналов в децибелах

$$20 \cdot \lg \left( \frac{A_{5,6}}{A_{6,0}} \right) = 20 \cdot \lg \left( \frac{5,6}{6,0} \right) = -0,6 \text{ дБ}$$

Как и в предыдущем случае, можно использовать имеющийся СОП с зарубками  $3,0 \cdot 2,0 \text{ мм}^2$ , настроить по нему опорный уровень чувствительности и потом установить нужный браковочный уровень увеличив чувствительность УЗД на 0,6 дБ.

#### Список литературы

1. Крауткремер Й., Крауткремер Г. Ультразвуковой контроль материалов. Пер. с нем. – М: Металлургия, 1991г., 752с.
2. Голямина И.П. (ред.). Ультразвук. Маленькая энциклопедия. М.: Советская энциклопедия, 1979.
3. И.Н.Ермолов, Ю.В.Ланге Ультразвуковой контроль. 2004г.
4. РД 34.17.302-97 (ОП №501 ЦД - 97) Котлы паровые и водогрейные. Трубопровода пара и горячей воды, сосуды. Сварные соединения. Контроль качества. Ультразвуковой контроль. Основные положения. (Изменения №1).
5. СТО Газпром 2-2.4-083-2006. Инструкция по неразрушающим методам контроля качества сварных соединений при строительстве и ремонте промышленных и магистральных газопроводов.
6. РД РОСЭК 001-96. Машины грузоподъемные. Конструкции металлические. Контроль ультразвуковой. Основные положения