

## Лекция 15

### МЕТОДЫ ПРОХОЖДЕНИЯ УЗ ДЕФЕКТΟΣКОПИИ

**Методы прохождения** относятся к способам акустического контроля, основанным на определении свойств испытываемого объекта по изменению одного из параметров упругой волны, прошедшей через контролируемый участок изделия.

Волна может излучаться:

- непрерывно;
- импульсно.

В качестве информационного параметра УЗ-сигнала используют:

- амплитуду УЗ-волны;
- фазу;
- время прохождения.

Наиболее часто регистрируют изменение амплитуды УЗ-волны.

Различают следующие *методы прохождения*:

1. Теневого метод.
2. Зеркально-теневого метод.
3. Временного теневого метод.

В первых двух признаком наличия дефектов является ослабление амплитуды упругих волн, прошедших через изделие.

Временного теневого метод используется для контроля крупнозернистых материалов с большим коэффициентом затухания. Признаком наличия дефектов является запаздывание времени прохождения импульсов через изделие.

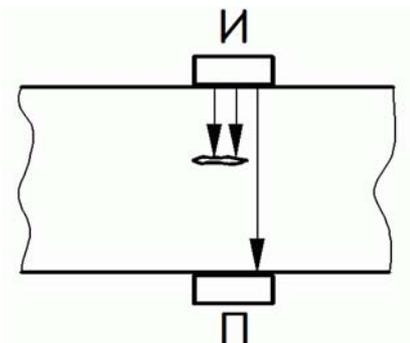
Преимущество методов прохождения перед эхо-методом:

1. Контроль материалов с большим коэффициентом затухания.
2. Отсутствие мертвой зоны, поэтому их можно использовать для контроля тонких изделий прострой геометрической формы — трубы, оболочки, листовой прокат.

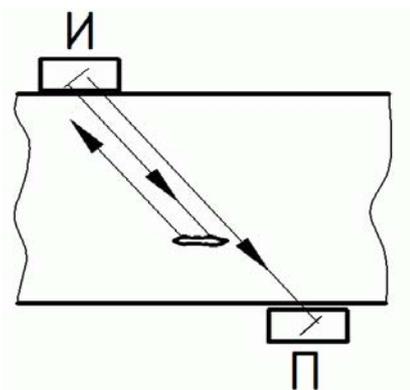
При использовании методов прохождения применяют следующие *схемы прозвучивания* контролируемого изделия:

Для применения *теневого метода* необходим двухсторонний доступ к объекту контроля.

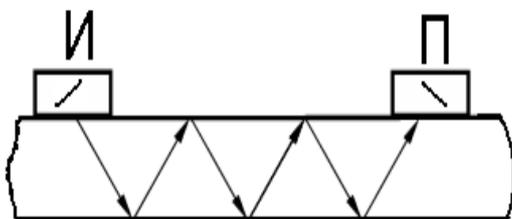
При контроле используют волны:



– продольные:



– поперечные:

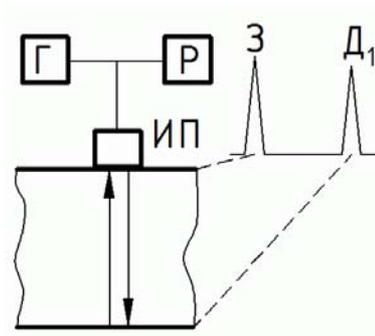


– нормальные – приемник и излучатель устанавливают с одной стороны контролируемого объекта (малой толщины, до 5 мм):

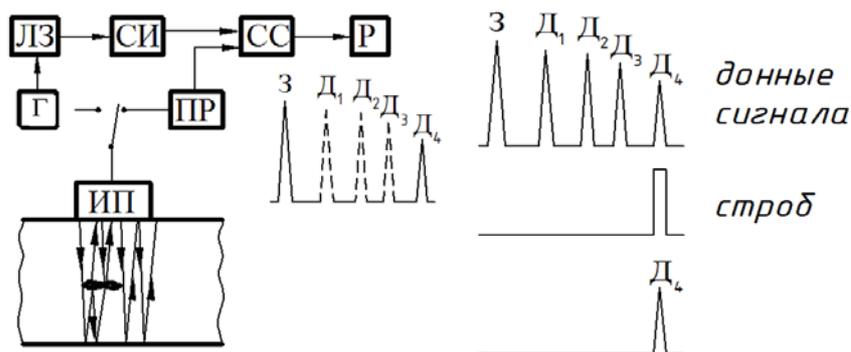
Если имеется только односторонний доступ к контролируемому объекту, то применяется зеркально-теневой метод. Приемник и излучатель располагают по одну сторону объекта контроля, и регистрируется ослабление сигнала, отраженного от противоположной стенки объекта.

Различают четыре основных способа контроля зеркально-теневым методом:

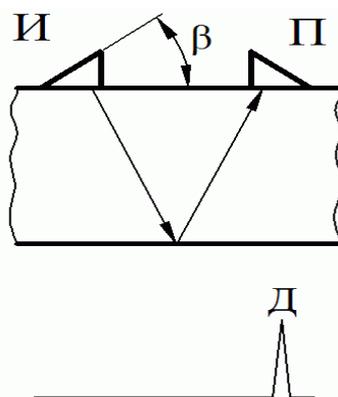
1. Прямым преобразователем по первому донному отражению продольной волны. Информационным параметром в этом случае является ослабление данного сигнала.



2. Прямым преобразователем по  $n$ -ому данному отражению продольной волны. При запуске генератора ( $Г$ ) через регулируемую линию задержки ( $ЗИ$ ) запускается генератор строб-импульса ( $СИ$ ). Строб-импульс подается на один из входов схемы совпадения, на второй — сигнал с приемника. Схема совпадения ( $СС$ ) пропускает сигнал с приемника ( $П$ ), только во время действия строба, поэтому на регистратор ( $Р$ ) попадает лишь тот зонный импульс, с которым совмещен во времени строб.



3. Двумя отдельными наклонными преобразователями по донному отражению продольной волны, причем  $\beta < \beta_{кр1}$ .



4. Двумя наклонными преобразователями по данному отражению поперечной волны, причем  $\beta_{кр1} < \beta < \beta_{кр2}$ .

**Аппаратура контроля методами прохождения.** Для контроля методами прохождения используют в основном импульсные эхо-дефектоскопы, при этом искатели включают по отдельной схеме.

О появлении дефекта судят по исчезновению или уменьшению сигнала, прошедшего через изделие от излучателя к приемнику. Для количественной оценки выявляемости дефектов вводят величину

$$K_{деф} = A_{деф} / A_0,$$

где  $A_{деф}$  — минимальная амплитуда при наличии дефекта;  $A_0$  — амплитуда сигнала при отсутствии дефекта. Коэффициент  $K_{деф}$  изменяется от 0 до 1.

Для оценки ослабления амплитуды сигнала имитатором дефекта в виде диска площадью  $S_{деф}$  можно пользоваться соотношениями:

при  $l \leq 5r_0$

$$1 - 4 \frac{S_{деф}}{S_n} \leq K_{деф} \leq 1 - \frac{S_{деф}}{S_n};$$

при  $l \leq 5r_0$

$$1 - 4 \frac{S_{деф}}{\lambda l} \leq K_{деф} \leq 1 - \frac{4S_{деф}S_n}{\lambda^2 l^2},$$

где  $S_n$  — площадь преобразователя;  $l$  — расстояние между излучателем и приемником;  $\lambda$  — длина волны;  $r_0 = R^2/\lambda$ ;  $R$  — радиус излучателя.

Минимальные размеры дефектов того или иного типа, которые можно уверенно обнаружить на заданной глубине, характеризуют предельную чувствительность метода. Обычно она определяется на образцах, изготовленных из материала контролируемого изделия, с искусственными отражателями в виде непрозрачных для УЗ-волн экранов, например из пенопласта, которые укрепляют на поверхности образца.

В принципе предельная чувствительность может быть определена также расчетным путем из уравнений, связывающих минимальный размер дефекта с частотой УЗ-волн и глубиной залегания дефекта. Минимальный размер дефекта-отражателя, имеющего форму круга в плоскости, перпендикулярной направлению прозвучивания, может быть оценен по формуле

$$D_{\min} = 2\sqrt{\lambda l_1 l_2 / (l_1 + l_2)},$$

где  $\lambda$  — длина волны;  $l_1, l_2$  — соответственно расстояние от дефекта до излучателя и приемника. При возрастании частоты  $f$ , в силу  $\lambda = c/f$ ,  $D_{\min}$  уменьшается, то есть предельная чувствительность возрастает. При  $l_1 + l_2 = \text{const}$ , предельная чувствительность наименьшая, если  $l_1 = l_2 = H/2$ , то  $D_{\min} = \sqrt{\lambda H}$ .

Предельная чувствительность теневого метода, так же как и эхо-метода, падает с увеличением коэффициента затухания и повышением уровня структурных помех, связанных с рассеянием УЗ-волн на неоднородностях материала. Поэтому при дефектоскопии теньевым методом преобразователь контактного типа практически не применяют, контроль ведут иммерсионным или щелевым — струйным, способом.

## Помехи при контроле методами прохождения

Виды помех:

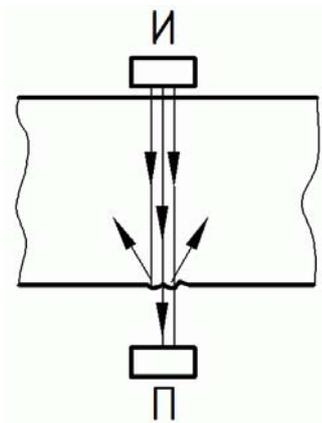
1. Нестабильность акустического контакта;
2. Несоосность преобразователей;
3. Изменение отражающих свойств зонной поверхности (при контроле зеркально-теньевым методом);
4. Возникновение стоячих волн и других резонансных явления в объектах контроля или в промежуточных слоях, резко изменяющих прохождение УЗ через различные контролируемые участки, немного отличающиеся по толщине;
5. Помехи, связанные с поглощением и рассеянием ультразвука.

При использовании методов прохождения, где дефект обнаруживают по уменьшению амплитуды сигнала, помехой следует считать всякое возмущение, приводящее к ослаблению сквозного или зонного сигнала. Поэтому при использовании методов прохождения высокие требования предъявляются к стабильности акустического контакта, так как любое случайное ухудшение контакта, в отличие от эхо-метода, интерпретируется как появление дефекта.

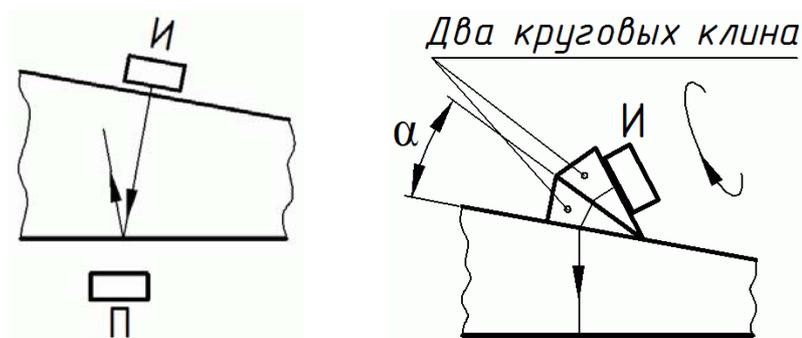
*Несоосность преобразователей.* Несоосность приводит к ослаблению сигналов. Чтобы избежать этого используют юстировку и жестко закрепляют излучатель и приемник относительно друг друга.

*Изменение отражающих свойств зонной поверхности.* Борьба с этим видом помех чрезвычайно сложна. Они возникают при контроле объектов с поверхностью сложной фор-

мы. В этом случае стараются выбрать оптимальным образом с точки зрения прохождения УЗ направление прозвучивания. В ином случае произойдет отклонение лучей в сторону и частичная трансформация волн. В результате сигнал на приемнике уменьшается.



Отклонение от параллельности контактной и донной поверхности устраняют с помощью компенсаторов, представляющих собой два круговых клина с углом  $\alpha$ . Результирующий угол компенсации может меняться от 0 до  $2\alpha$ . Однако в этом случае может иметь место отражение от промежуточных границ клиньев.



*Возникновение стоячих волн и резонансных явлений.* В этом случае резко изменяются условия прохождения УЗ через контролируемые участки различной толщины. Эффективный способ борьбы с этими помехами — использование импульсного режима излучения. Длительность импульса  $\tau$  должна быть меньше времени пробега волны в объекте контроля в прямом и обратном направлениях  $\tau < 2H/c$ ,  $H$  – толщина объекта. При выполнении этого условия импульсы, прошедшие непосредственно через объект и испытавшие в нем многократные отражения, приходят к приемнику в разные интервалы времени и не интерферируют между собой.

*Изменение поглощения и рассеяния УЗ.* В объекте контроля могут встречаться участки с разным размером зерна. Поэтому при сканировании таких участков ослабление сигналов может быть принято за наличие дефектов. При зеркально-теновом методе в результате структурной реверберации иногда не удается выделить зонный сигнал на фоне помех.

Эффективным способом борьбы с этими помехами является применение временного теневого метода. Структурные помехи появляются позднее переднего фронта сквозного сигнала. Чувствительность временного способа практически не зависит от частоты УЗ. Поэтому при контроле материалов с большим коэффициентом затуханием можно понизить частоту и тем самым добиться достаточно большой амплитуды сквозного сигнала.

### **Предельная чувствительность методов прохождения**

Из-за влияния помех теневые методы по чувствительности уступают эхо-методу. Например, при контроле объектов из мелкозернистой стали толщиной  $H = 50 \dots 60$  мм

теновым методом можно выявить дефекты  $10 \dots 20$  мм<sup>2</sup> (3...4 мм);

эхо-метод можно выявить дефекты  $1 \dots 3$  мм<sup>2</sup> (1...2 мм).

Однако теневые методы обладают преимуществом при контроле материалов с большим затуханием УЗ. Например, для контроля пластмасс используются частоты  $\sim 10^2$  кГц, что способствует улучшению прохождения УЗ. При этом сохраняется высокая чувствительность к выявлению дефектов с размерами даже меньших длин волны  $d < \lambda$ , поскольку однородность материала при высокой стабильности акустического контакта позволяет зарегистрировать очень небольшие изменения интегральной интенсивности акустических волн.

Используя временный теневой метод, удается контролировать сильно неоднородные материалы — бетон с металлической арматурой, огнеупоры и др., то есть в тех случаях, когда эхо-метод не работает.