

# Ультразвук

**Ст. преподаватель НОЦ ИС  
Килани Л.З.**

# Акустические методы контроля строительных конструкций

Ультразвуковые акустические методы построены на изучении характера распространения звука в конструкционных материалах

**Звук** — колебательное движение частиц упругой среды, распространяющееся в виде волны в газообразной, жидкой или твердой среде

## Упругие волны

- инфразвуковые (частота до 20 Гц)
- звуковые (частота от 20 Гц до 20 кГц)
- ультразвуковые (частота от 20 кГц до 1000 МГц )
- гиперзвуковые (частота превышает 1000 МГц)

Ультразвуковые волны, переходя из одной среды в другую, преломляются, а также отражаются от границ, разделяющих эти среды, что используется для определения их распространения при данном методе контроля.

В воздушных прослойках ультразвуковые колебания затухают почти полностью, что позволяет выявлять и исследовать скрытые внутренние дефекты: трещины, расслоения, пустоты и т.д.

## **Акустические методы контроля строительных конструкций**

- Ультразвуковой импульсный метод (основан на использовании механических колебаний высокой частоты 20-200 кГц для бетона и 0,3-2 МГц. для металла).
- Низкочастотный звуковой (ударный метод) (Фиксируется распространение упругой волны широкого спектра частот)
- Резонансный виброакустический метод (основан на исследовании незначительного колебания всего образца или конструкции в целом)
- Метод акустической эмиссии (распространение сигналов при возникновении дефектов)

### **Область применения УЗИ**

- Определение прочности и класса бетона.
- Проверка однородности бетона;
- Определение упругих характеристик бетона (модуля упругости, сдвига, коэффициента Пуассона)
- Определение наличия дефектов (дефектоскопия бетона, сквозное прозвучивание и продольное профилирование)
- Дефектоскопия и толщинометрия металлов (эхо-метод, теневой метод, эхо-теневой метод)
- Определение глубины развития трещин в конструкциях
- Контроль процесса трещинообразования (при научных исследованиях)

## Ультразвуковой импульсный метод (УЗИ)

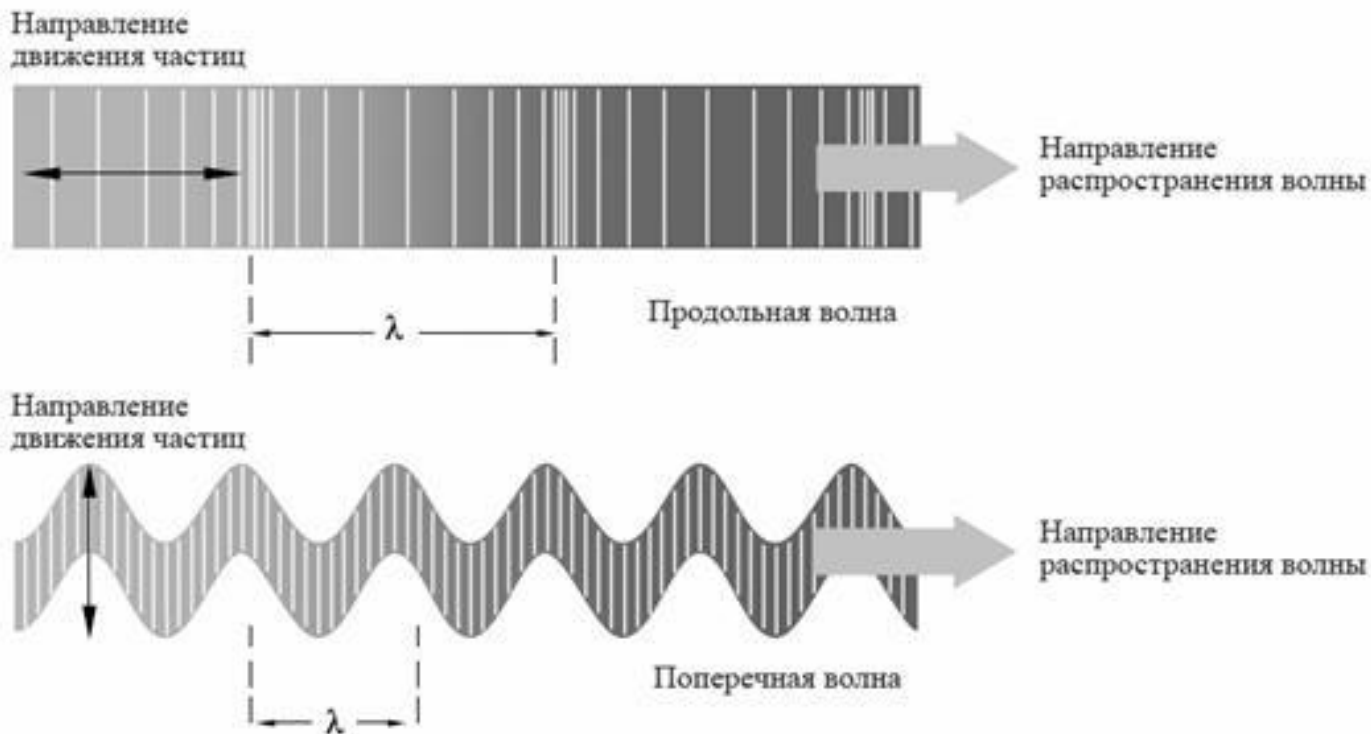
**Физическая основа метода** – наличие зависимости между скоростью распространения высокочастотных колебаний в среде и свойствами этой среды.

Для бетона применение УЗИ позволяет:

- 1) определить прочность бетона
- 2) проверить однородность бетона
- 3) определить модуль упругости, модуль сдвига, коэффициент Пуассона
- 4) определить наличие дефектов
- 5) определить глубину развития трещин в конструкциях
- 6) проконтролировать процесс трещинообразования

Виды ультразвуковых волн

- Продольные (колебания по направлению ультразвукового луча)
- Поперечные (колебания перпендикулярно к направлению луча)
- Поверхностные (продольные, поперечные)

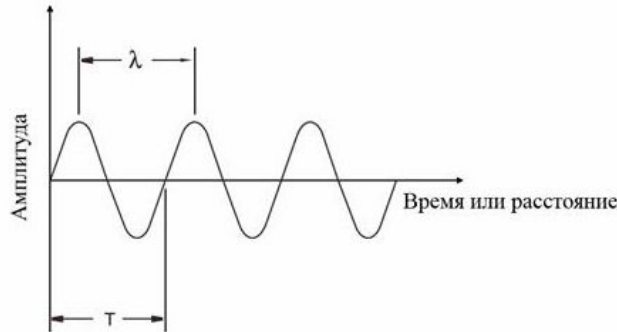


## Параметры ультразвука

Основными параметрами волны являются длина волны и период. Число циклов совершенных за одну секунду называется частотой и измеряется в Герцах (Гц). Время, требуемое чтобы совершить полный цикл, называется периодом и измеряется в секундах. Взаимосвязь между частотой и периодом волны приведено в формуле:

$$f = \frac{1}{T}, (1)$$

где  $f$  – частота, Гц,  
 $T$  – период, с



**Скорость звука** в идеальном упругом материале при заданной температуре и давлении является постоянной. Связь между скоростью ультразвука и длиной волны следующая:

$$\lambda = \frac{c}{f},$$

где  $\lambda$  – длина волны, м,  
 $c$  – скорость звука, м/с

## **Затухание ультразвука**

Одной из основных характеристик ультразвука является его затухание. **Затухание ультразвука** – это уменьшение амплитуды и, следовательно, интенсивности звуковой волны по мере ее распространения. Затухание ультразвука происходит из-за ряда причин. Основными из них являются:

убывание амплитуды волны с расстоянием от источника, обусловленное формой и волновыми размерами источника;

рассеяние ультразвука на неоднородностях среды, в результате чего уменьшается поток энергии в первоначальном направлении распространения;

поглощение ультразвука т.е. необратимый переход энергии звуковой волны в другие формы.

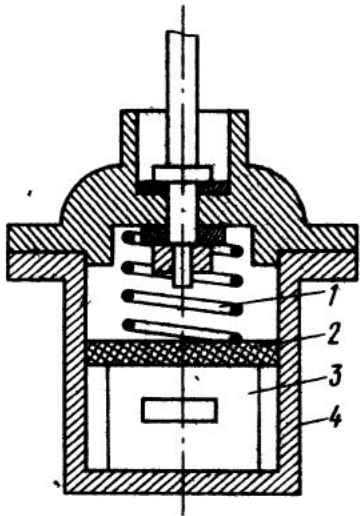
Первая из этих причин связана с тем, что по мере распространения волны от точечного или сферического источника энергия, излучаемая источником, распределяется на все увеличивающуюся поверхность волнового фронта и соответственно уменьшается поток энергии через единицу поверхности

**Рассеяние ультразвука** происходит из-за резкого изменения свойств среды – её плотности и модулей упругости — на границе неоднородностей, размеры которых сравнимы с длиной волны.

## **Отражение ультразвука от границы раздела сред**

При падении звуковой волны на границу раздела сред, часть энергии будет отражаться в первую среду, а оставшаяся энергия будет проходить во вторую среду. Соотношение между отраженной энергией и энергией, проходящей во вторую среду, определяется волновыми сопротивлениями первой и второй среды

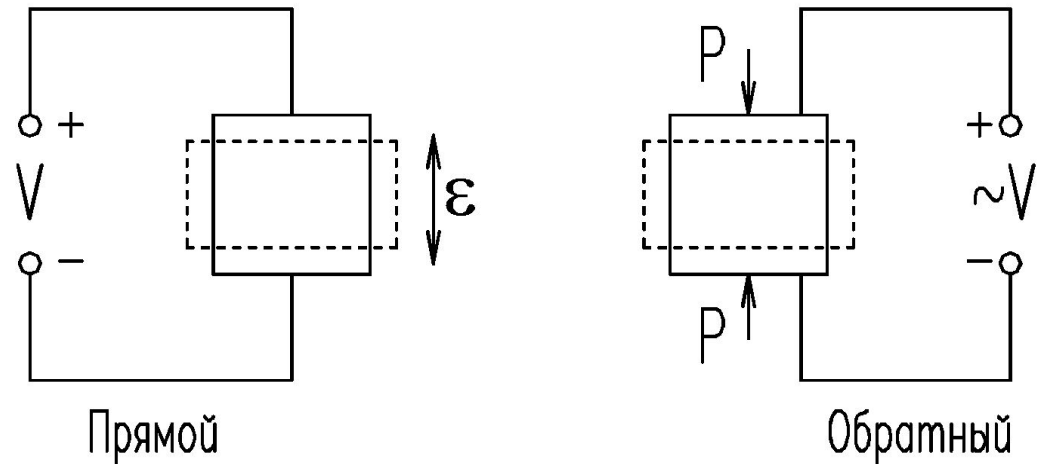
В большинстве случаев ультразвук создается с помощью специальных материалов –  
**пьезоэлектриков**



### Пьезоэлектрический преобразователь

- 1- пружина
- 2- прокладка
- 3- материал обладающий пьезоэлектрическим эффектом (кристаллы кварца, турмалина, титанат бария, сегнетова соль)
- 4- металлический корпус

### Пьезоэффект

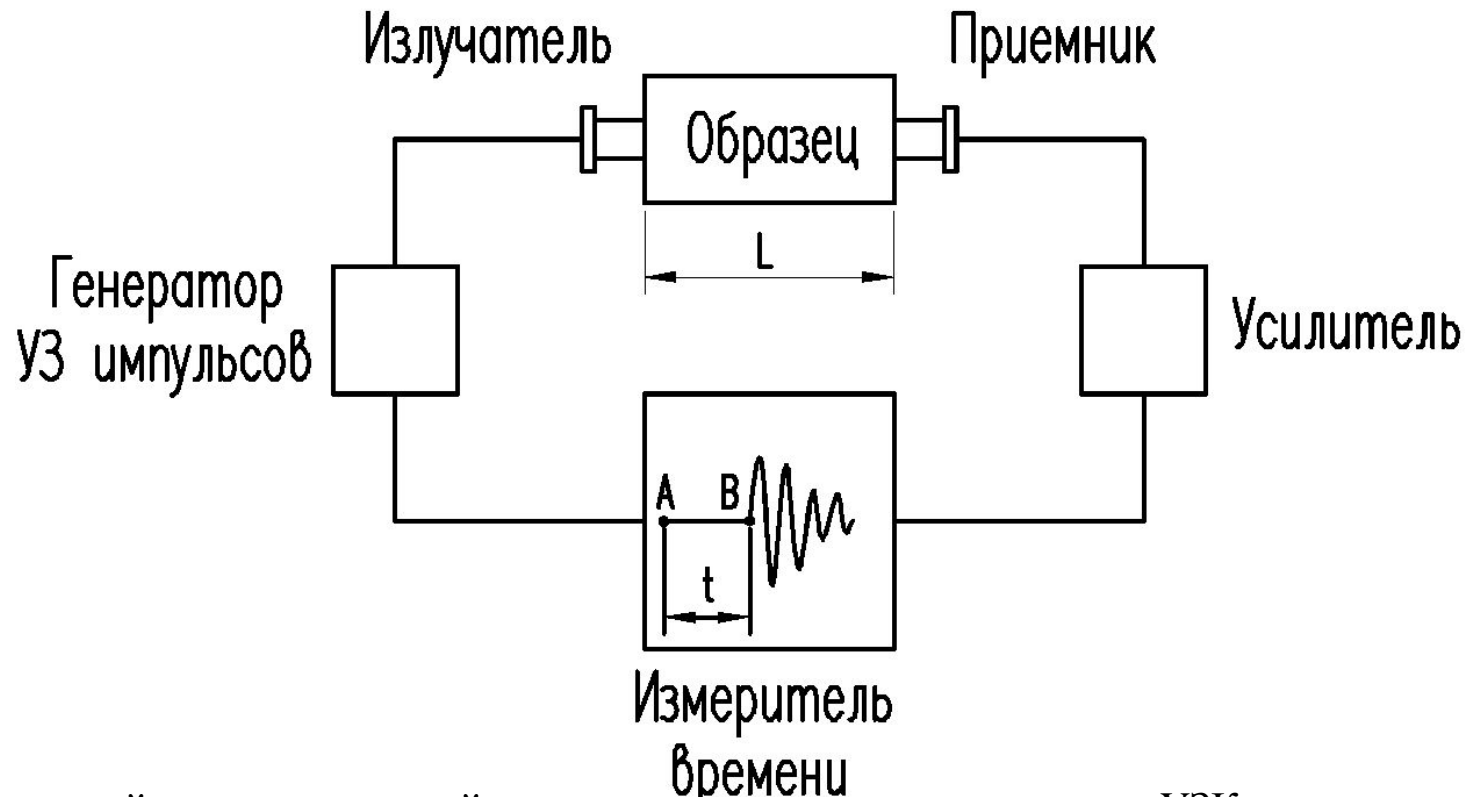


**Прямой пьезоэлектрический эффект** — эффект возникновения поляризации диэлектрика под действием механических напряжений.

**Обратный пьезоэлектрический эффект** — возникновение механических деформаций под действием электрического поля.



## Принципиальная блок-схема



Основной регистрируемый параметр — время распространения УЗК

Основные возможные погрешности — от качества контакта излучателя и приемника колебаний с конструкцией

## Определение упругих характеристик бетона

Определение динамического модуля упругости:

$$E_{дин} = V_{прод}^2 \cdot \rho \cdot K^{-1}$$

$K = 1$  – для скорости распространения продольных упругих волн в стержне – одномерной среде;

$K = \frac{1}{1-\mu^2}$  – для распространения продольных упругих волн в пластине – двумерной среде (здесь и далее под  $\mu$  понимается коэффициент Пуассона);

$K = \frac{1-\mu}{(1+\mu)(1-2\mu)}$  – для скорости распространения продольных упругих волн в массиве – трехмерной среде;

$K = \frac{1}{2(1+\mu)}$  – для скорости распространения поперечных упругих волн в любой среде, как одномерной, так двумерной и трехмерной;

$K = \left(\frac{0,87+1,12}{1+\mu}\right)^2 \cdot \frac{1}{2(1+\mu)}$  – для скорости распространения поверхностных волн, так называемых волн Рэлея.

Определение динамического коэффициента Пуассона:

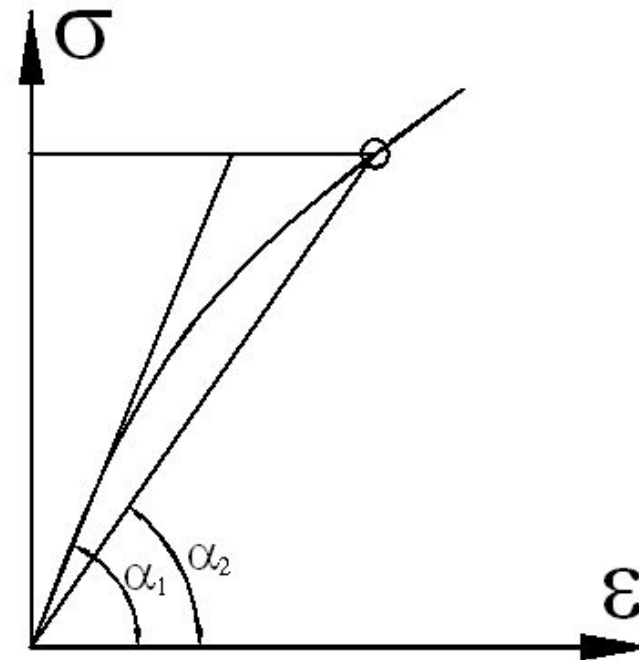
$$\mu_D = \frac{V_{\text{прод}}^2 - V_{\text{поп}}^2}{2 \cdot V_{\text{поп}}^2}$$

- динамический коэффициент Пуассона

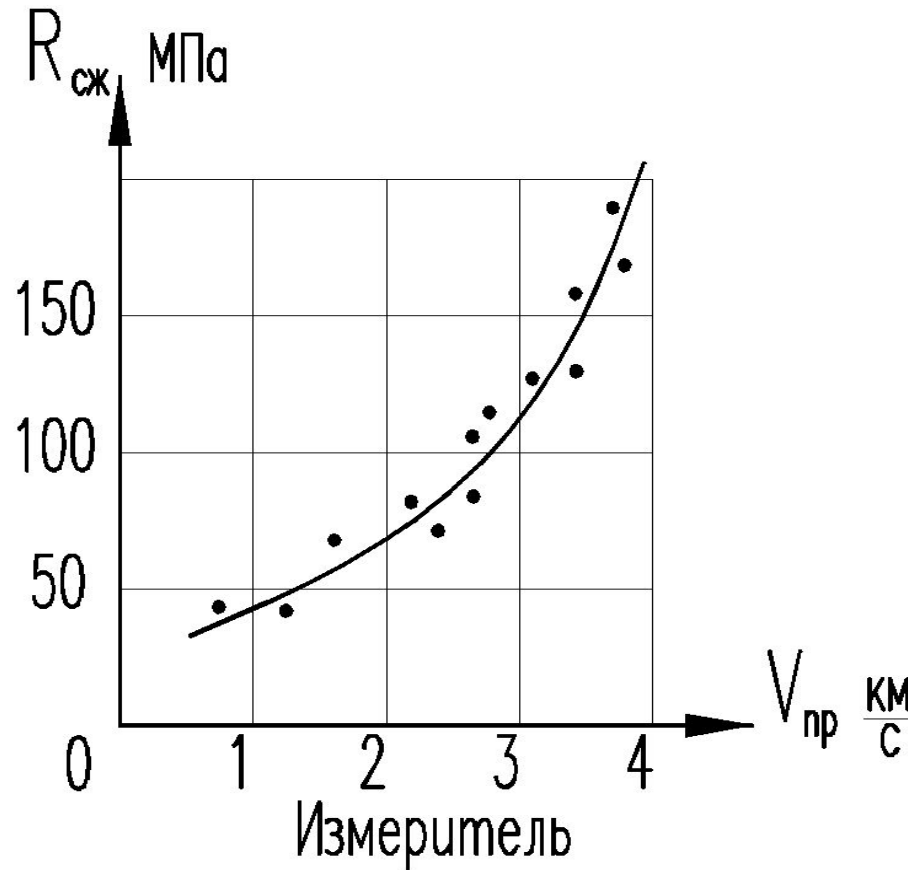
$$G_D = \frac{E_D}{2 \cdot (1 + \mu_D)}$$

$$\text{tg} \alpha_1 = E_D$$

$$\text{tg} \alpha_2 = E_{\text{стат}}$$



## Определение прочности бетона



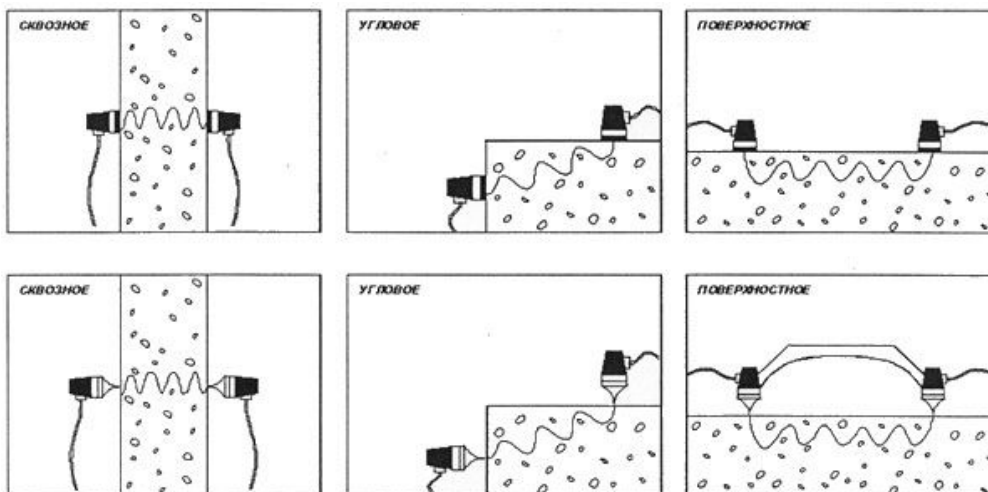
Для бетона данного состава, на одинаковом заполнителе и прошедшего идентичную термообработку имеется эмпирически установленная корреляционная зависимость

$$\langle R_{сж} - V_{пр} \rangle$$

# Измерение скорости распространения УЗК волн в твердых материалах при поверхностном и сквозном прозвучивании



**ПУЛЬСАР 1.1**



**УК1401**



## Типы датчиков

Плоский датчик, важно обеспечить контакт между исследуемом объектом и датчиком



Точечный преобразователь не требующий контактной среды.



Точечный преобразователь с фиксированной базой прозвучивания.





## Ультразвуковая дефектоскопия бетона

Применяемые частоты: 40-60 кГц

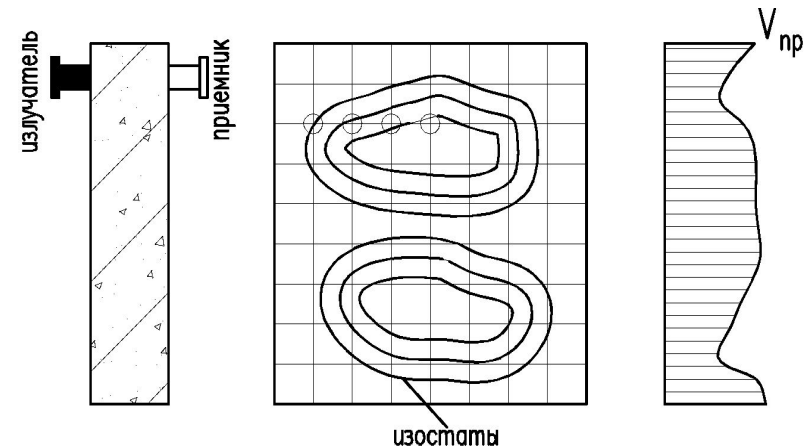
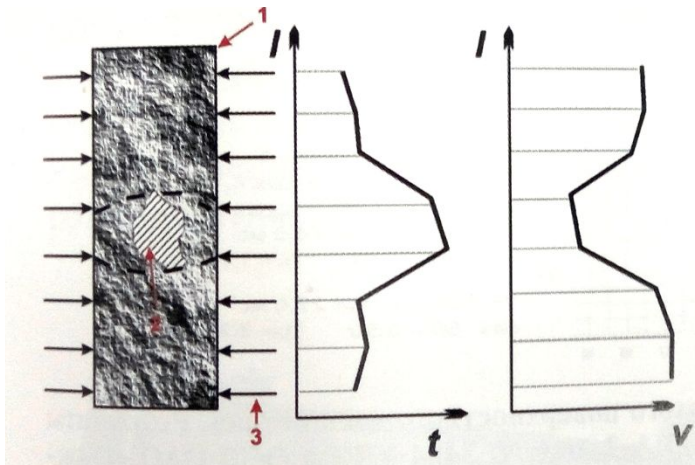
- определение однородности
- определение наличия полостей

**Изохроны** - линии равных времен прохождения звука по толщине

**Сквозное прозвучивание:**

- ✓ доступ к изделию с обеих сторон
- ✓ путь луча известен
- ✓ время прохождения луча измеряется
- ✓ определяемый параметр – скорость

**Изоспиды** - линии равных скоростей распространения звука



## Ультразвуковая дефектоскопия бетона

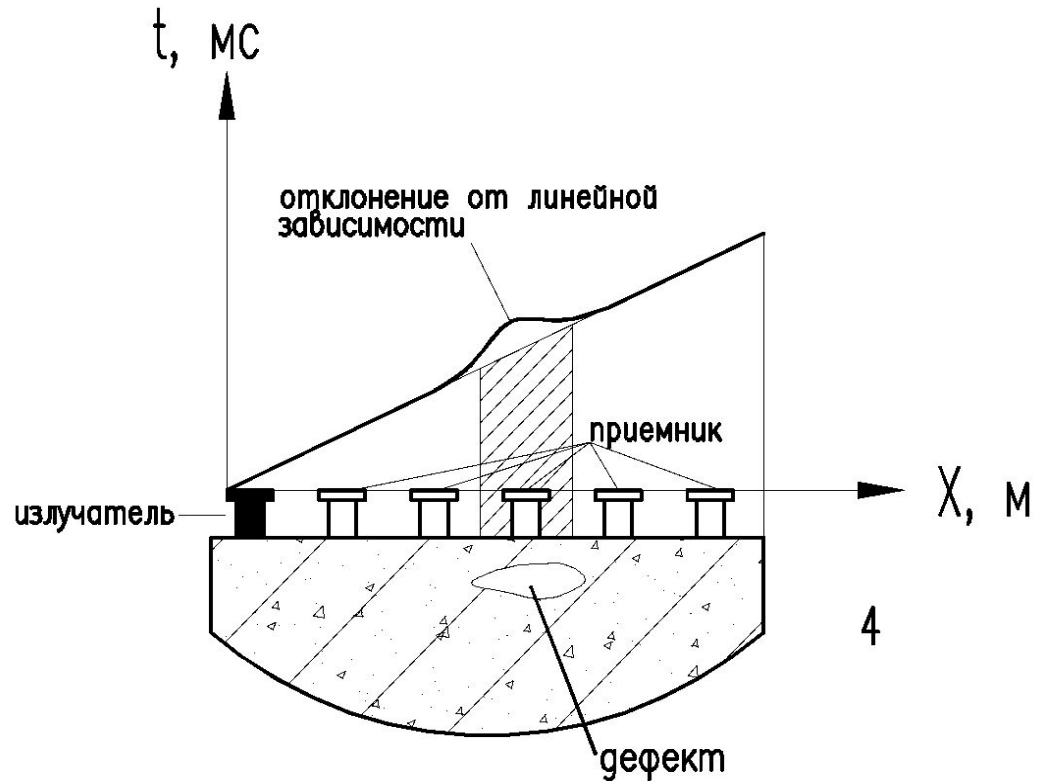
### Продольное профилирование (метод Годографа):

- ✓ доступ к изделию с одной стороны
- ✓ глубина прозвучивания  $1,5l$
- ✓ длина волны УЗК -  $l$  - зависит от частоты  $f$  и скорости  $V$

если  $V=4000\text{м/с}$

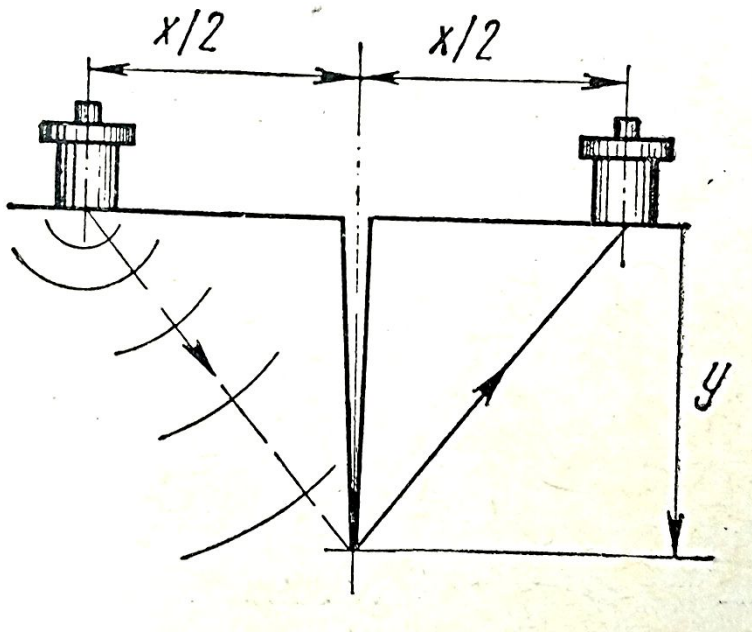
то при  $f=60\text{кГц}$   $l=6,7\text{см}$

при  $f=25\text{кГц}$   $l=16\text{см}$





## Определение глубины трещины

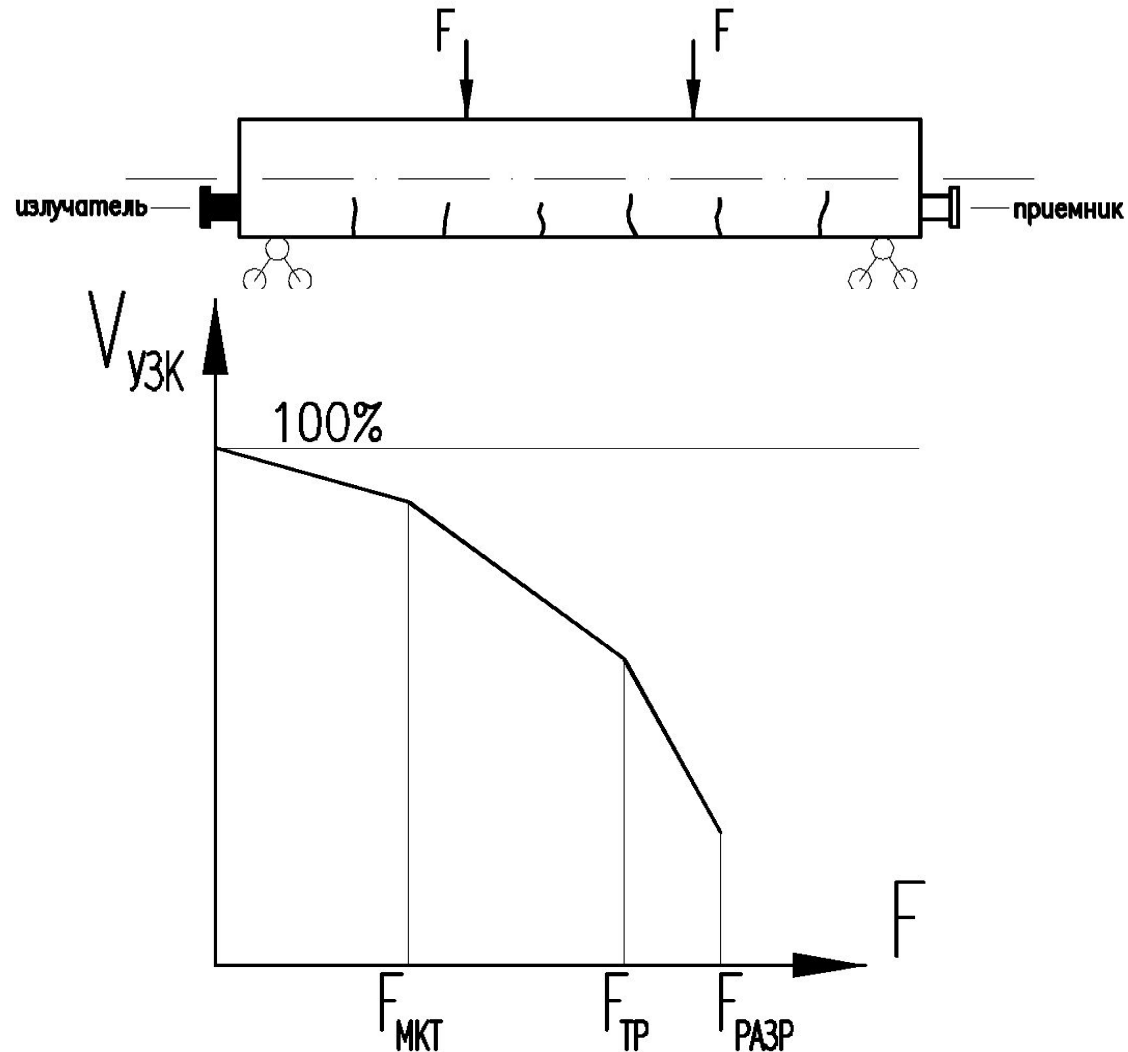


$$\left(\frac{t_1 v}{2}\right)^2 = x^2 + y^2$$

$$y = \sqrt{\left(\frac{t_1 v}{2}\right)^2 - x^2}$$

$$y = \frac{v}{2} \sqrt{t_1^2 - t^2}$$

## Контроль процесса трещинообразования



## Ультразвуковая дефектоскопия бетона



**A1040 ПОЛИГОН**



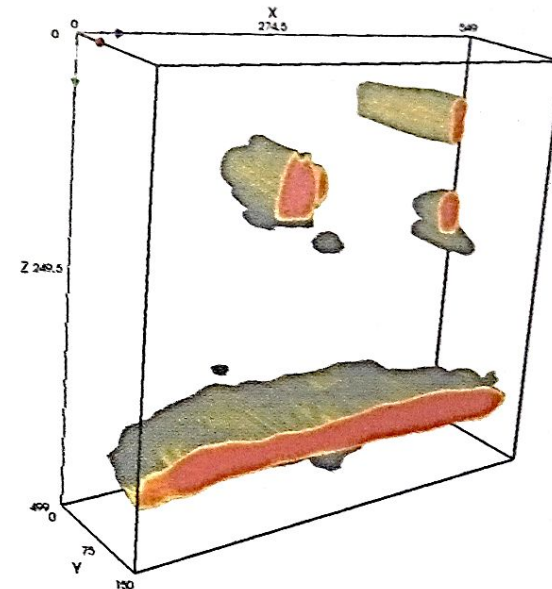
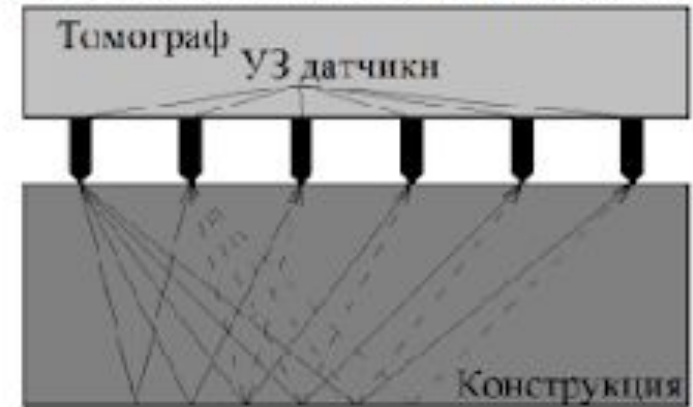
**A1220 МОНОЛИТ**

Основные области применения прибора:

определение толщины стен и перекрытий, фундаментных плит и других конструкций;

поиск в конструкциях пустот, каналов, силовой арматуры, определение их размеров и мест расположения;

Ультразвуковой томограф MIRA A1040 предназначен для определения размеров конструкций из бетона, железобетона и камня, и их дефектоскопии при одностороннем доступе к ним. Чувствительными элементами томографа MIRA A1040 служат 48 (4 ряда по 12) ультразвуковых датчиков



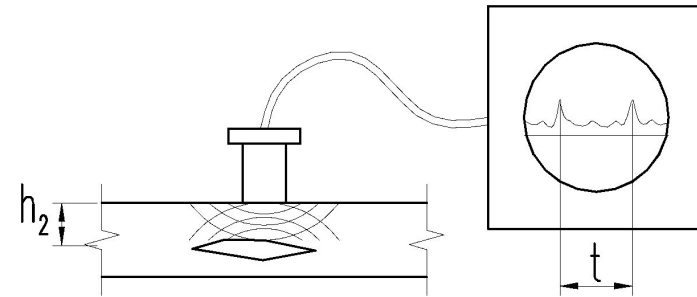
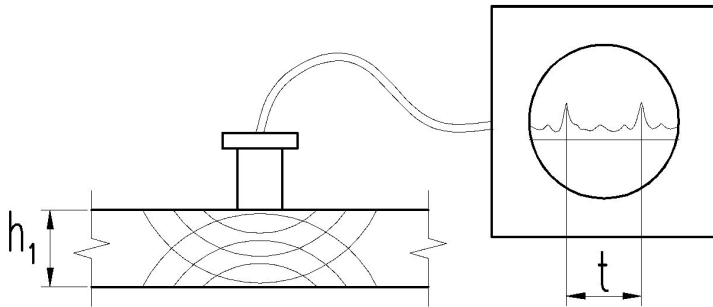
# Ультразвуковая дефектоскопия металла

Применяемые частоты: 2,5-5 МГц

$$V_{np} = const \quad h = t \cdot \frac{V}{2}$$

## Измерение толщины листа

## Определение глубины залегания дефекта



A1207





## Ультразвуковая дефектоскопия металла

**С помощью проведения УЗК возможно выявить следующие дефекты:**

- Трещины в околошовной зоне;
- поры;
- непровары шва;
- расслоения наплавленного металла;
- несплошности и несплавления шва;
- дефекты свищеобразного характера;
- провисание металла в нижней зоне сварного шва;
- зоны, пораженные коррозией,
- участки с искажением геометрического размера.

Методы дефектоскопии

**Теневой метод.** Заключается в контроле уменьшения амплитуды ультразвуковых колебаний прошедшего и отраженного импульсов.

**Зеркально-теневой метод.** Обнаруживает дефекты швов по коэффициенту затухания отраженного колебания.

**Эхо-метод.** Основан на регистрации сигнала отраженного от дефекта

## Ультразвуковая дефектоскопия металла

### *Теневой метод*

Теневой метод При теневом методе контроля о наличии дефекта судят по уменьшению амплитуды УЗ-колебаний, прошедших от излучателя к приемнику . Чем больше размер дефекта, тем меньше амплитуда прошедшего сигнала. Излучатель и приемник ультразвука располагают при этом соосно на проти-воположных поверхностях изделия.

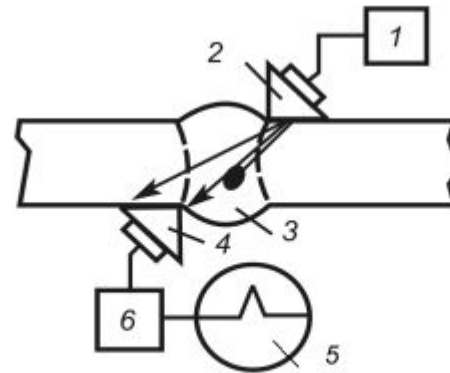


Рис. 2. Контроль теневым методом:  
1 - генератор; 2,4- ПЭП; 3 - шов; 5 - ЭЛТ; 6 - усилитель

## Ультразвуковая дефектоскопия металла

### *Зеркально-теневой метод*

Зеркально-теневой метод (рис.3). При зеркально-теневом методе признаком обнаружения дефекта служит ослабление амплитуды сигнала, отраженного от противоположной поверхности

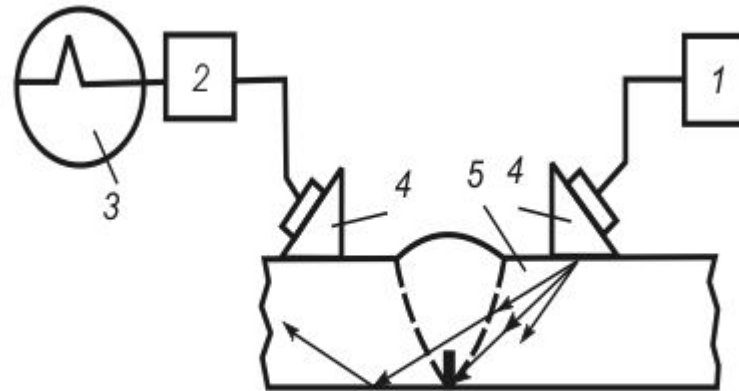


Рис. 3 Контроль зеркально-теневым методом:  
1 - генератор; 2 - усилитель; 3 - ЭЛТ; 4 - ПЭП; 5 - шов



## Ультразвуковая дефектоскопия металла

### *Эхо-метод*

Эхо-метод (рис.1) основан на регистрации эхо-сигнала, отраженного от дефекта. Кроме преимущества одностороннего доступа он также имеет наибольшую чувствительность к выявлению внутренних дефектов, высокую точность определения координат дефектов.

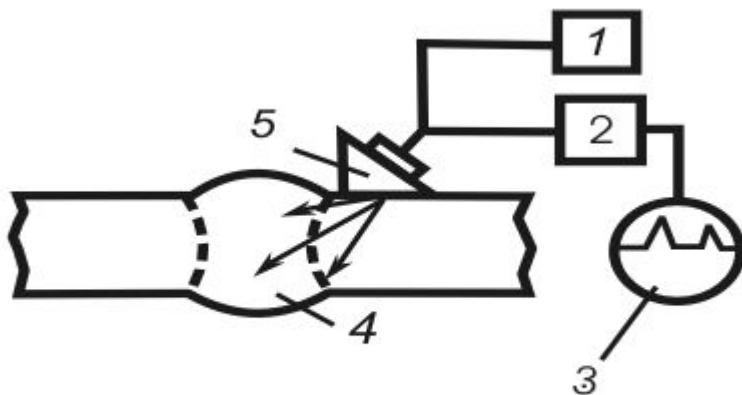


Рис.1.Контроль эхо-методом:

1-генератор; 2-усилитель; 3-индикатор; 4-объект контроля (шов); 5-преобразователь