

## Лекция №4

### Акустические методы контроля строительных конструкций:

1. Ультразвуковой импульсный метод;
2. Низкочастотный звуковой (ударный метод);
3. Резонансный виброакустический метод;
4. Метод акустической эмиссии;
5. Поляризационно-акустический метод

#### Ультразвуковой импульсный метод (УЗИ)

Физическая основа метода – наличие зависимости между скоростью распространения ультразвука и свойствами материалов.

Применяемые частоты:

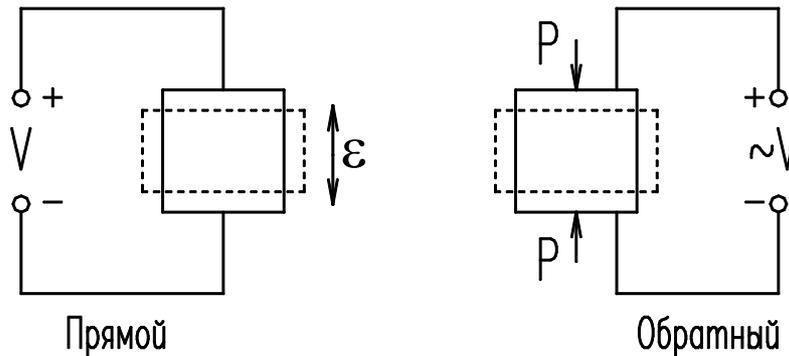
- для бетона 40кГц – 200кГц
- для металла 1МГц – 5МГц

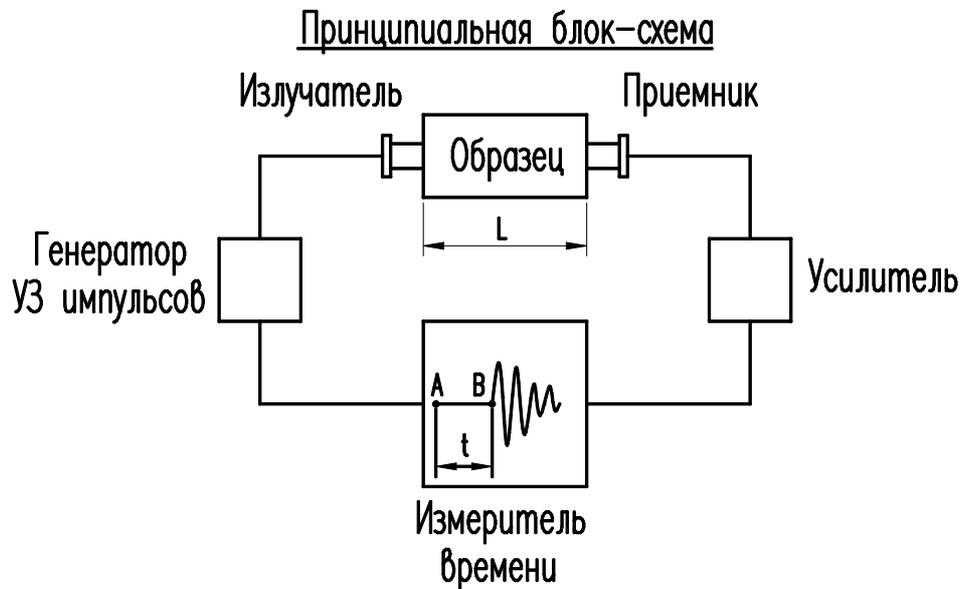
Для бетона применение УЗИ позволяет:

- определить прочность бетона;
- проверить однородность бетона;
- определить модуль упругости, модуль сдвига, коэффициент Пуассона;
- определить наличие дефектов;
- определить глубину развития трещин в конструкциях;
- проконтролировать процесс трещинообразования (при научных исследованиях).

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

#### Пьезоэффект





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:

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

где  $\kappa$  - коэффициент формы

$$\kappa = 1 \quad \text{- для стержня с минимальным размером } a \leq \lambda / 2 ;$$

$$\kappa = \frac{1}{1 - \mu_D^2} \quad \text{- для пластины;}$$

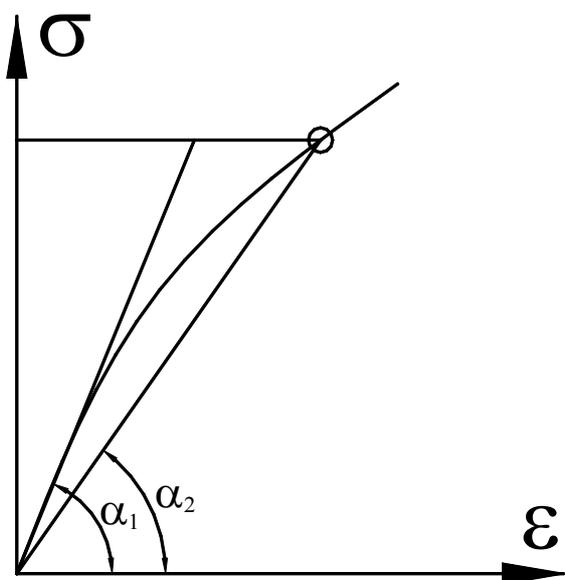
$$\kappa = \frac{1}{(1 + \mu_D) \cdot (1 - 2\mu_D)} \quad \text{- для трехмерного тела;}$$

Определение динамического коэффициента Пуассона:

$$\mu_D = \frac{V_{прод}^2 - V_{поп}^2}{2 \cdot V_{поп}^2} \quad \text{- динамический коэффициент Пуассона}$$

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

Переход от  $E_{дин}$  к  $E_{стат}$  :



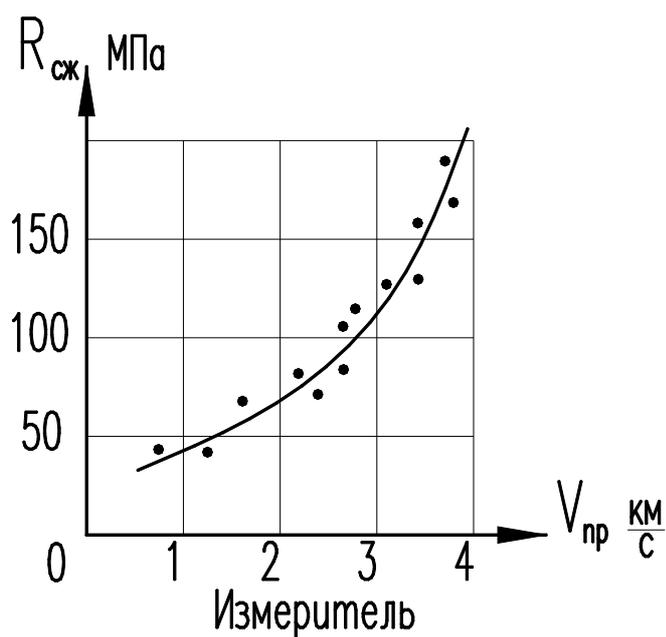
$$\operatorname{tg} \alpha_1 = E_D$$

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

$$E_{\text{стат}} = E_D \cdot \left(1 - \frac{\sigma}{R_{\text{пр}}}\right)^{0,5}$$

$$E_{\text{стат}} = E_D \cdot \left(1 - 0,15 \cdot \frac{\sigma - 40}{100}\right)$$

**Определение прочности бетона ультразвуковым методом.**



Для бетона данного состава, на одинаковом заполнителе и прошедшего идентичную термообработку имеется эмпирически установленная корреляционная зависимость « $R_{\text{сж}} - V_{\text{пр}}$ ».

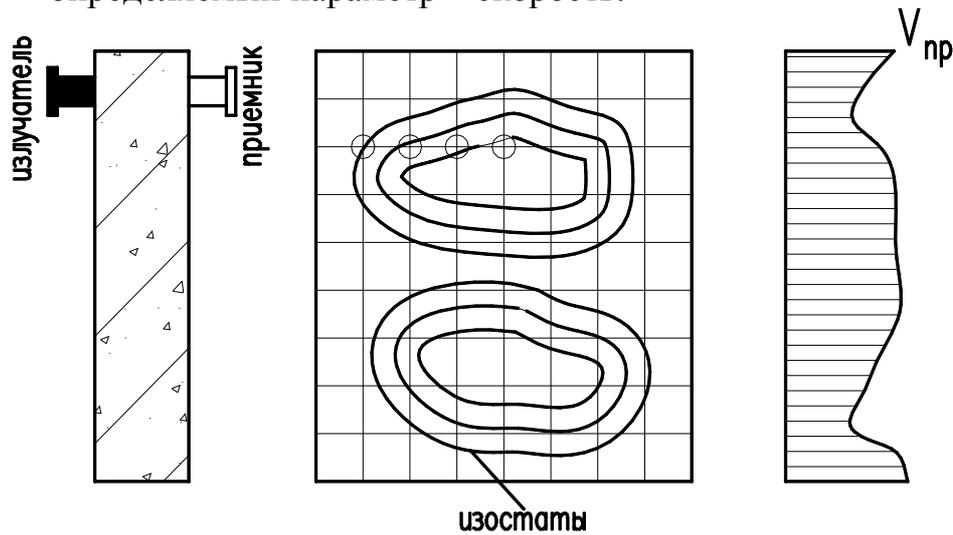
## Ультразвуковая дефектоскопия бетона.

Применяемые частоты: 40-60 кГц

- определение однородности;
- определение наличия полостей.

### Сквозное прозвучивание:

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

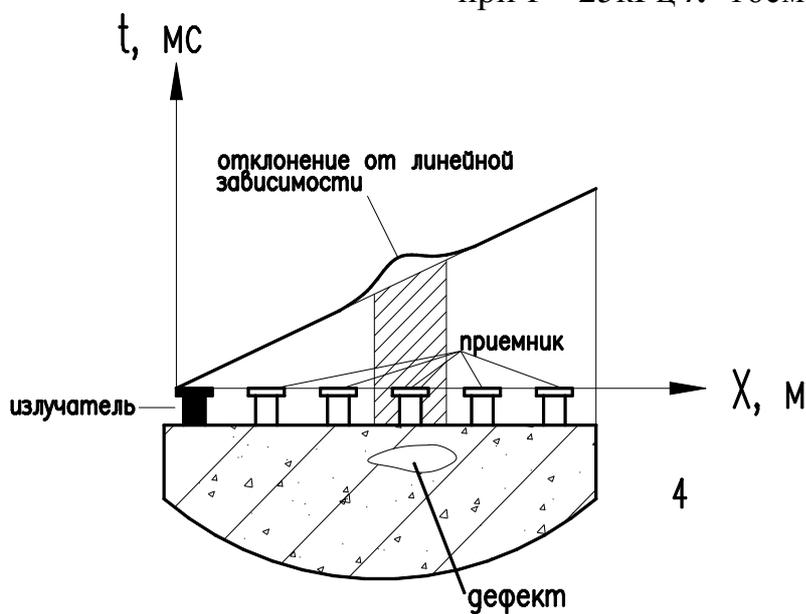


### Продольное профилирование (метод Годографа):

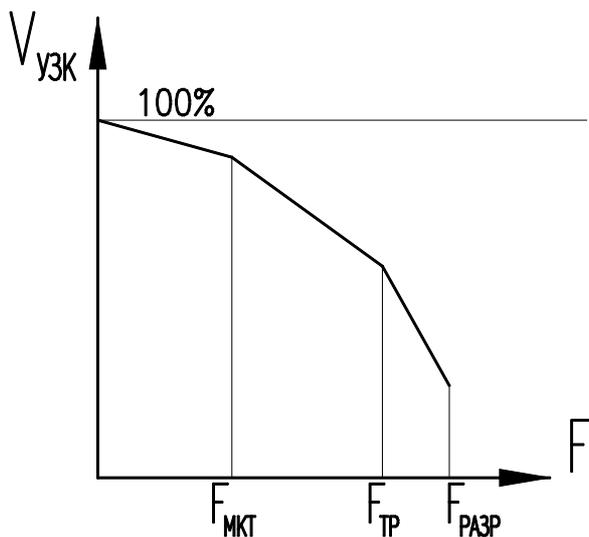
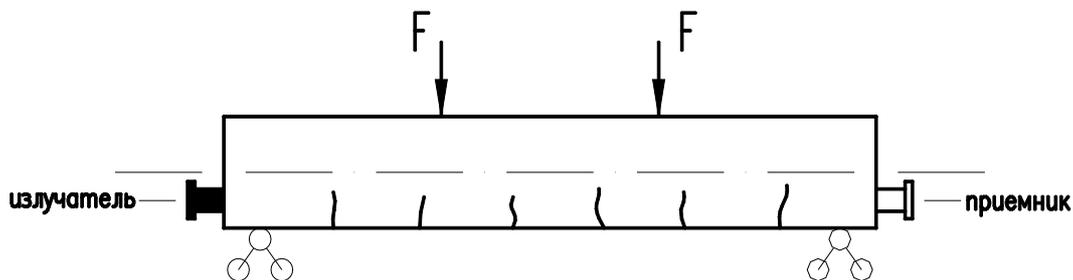
- доступ к изделию с одной стороны;
- глубина прозвучивания  $1,5\lambda$ ;
- длина волны УЗК -  $\lambda$  - зависит от частоты  $f$  и скорости  $V$ ;

$$\lambda = \frac{V}{f};$$

- если  $V=4000\text{м/с}$ , то при  $f=60\text{кГц}$   $\lambda=6,7\text{см}$ ;
- при  $f=25\text{кГц}$   $\lambda=16\text{см}$ ;



**Контроль процесса трещинообразования:**

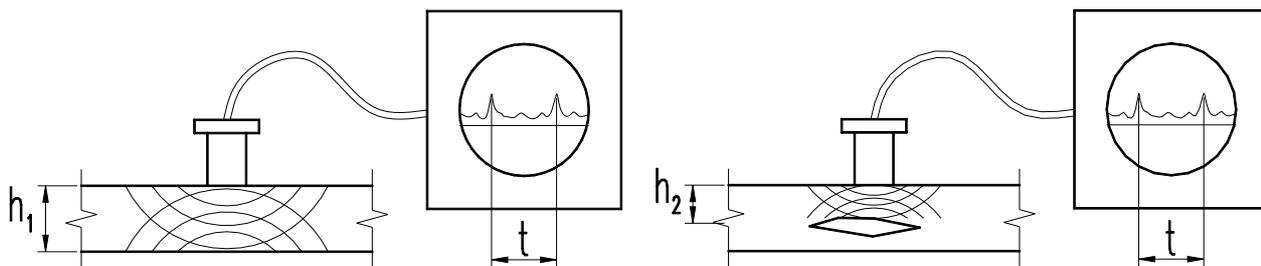


**Ультразвуковая дефектоскопия металла.**

Применяемые частоты: 2,5-5 МГц

Измерение толщины листа:

Определение глубины залегания дефекта:

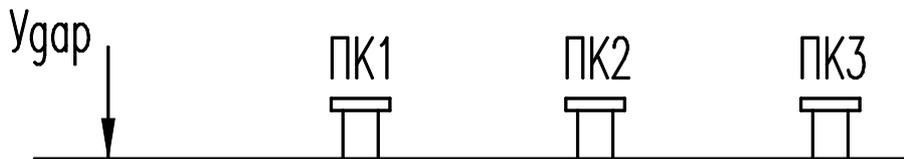


$$V_{np} = const \quad h = t \cdot \frac{V}{2}$$

## Звуковой (ударный) метод

Используются низкочастотные звуковые колебания

### Принципиальная схема метода

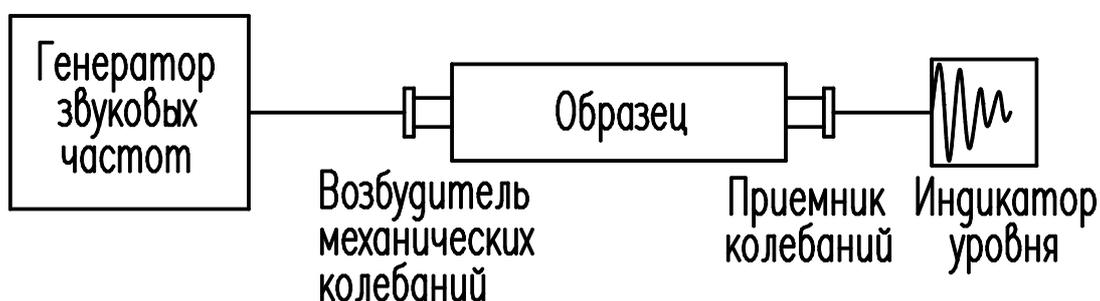


Звуковым ударным методом, как и УЗИ можно пользоваться для вычисления упругих характеристик бетона:  $E_{дин}$ ,  $G_{дин}$ ,  $\mu_{дин}$  и находить прочность бетона.

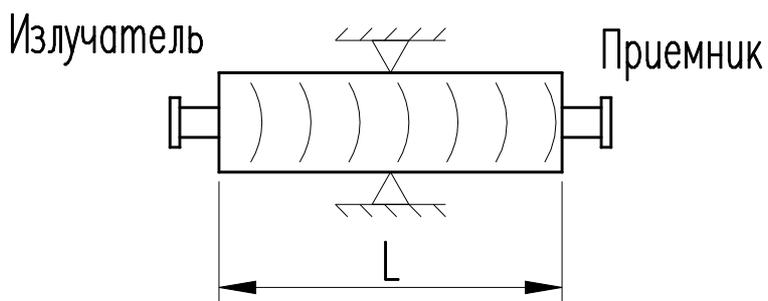
### Резонансный виброакустический метод

Применяется для контроля изделий сравнительно небольшого размера и массы. Основа метода – наличие зависимости между качеством конструкции и ее динамическими характеристиками.

### Принципиальная блок-схема



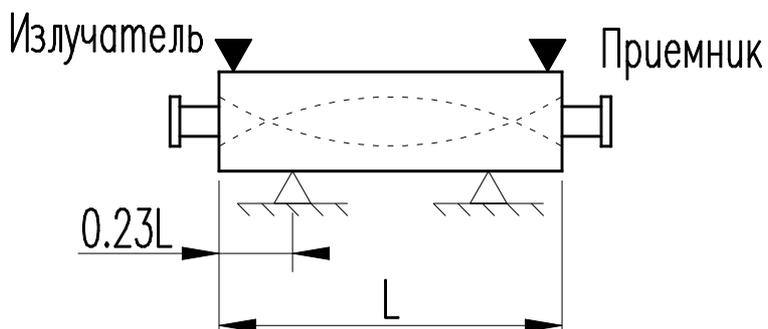
**Продольные колебания:**



$$E_{дин} = 4 \cdot \rho \cdot l^2 \cdot f_{прод}^2$$

$\rho$  – плотность бетона

**Изгибное колебание:**

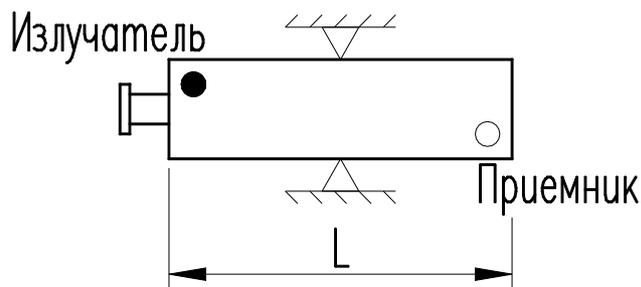


$$E_{дин} = 0.079 \cdot \frac{c}{i^2} \cdot \rho \cdot l^4 \cdot f_{изг}^2$$

$i$  – радиус инерции

$c$  – коэффициент формы сечения

**Крутильные колебания:**



$$G_{дин} = 4 \cdot \beta \cdot \rho \cdot l^2 \cdot f_{крут}^2$$

$\beta$  – коэффициент формы ( $\beta=1$  – для круга,  $\beta=1,18$  – для квадрата).

Найденные значения  $E_{дин}$  и  $G_{дин}$  позволяют определить:

$$\mu_{дин} = 0.5 - \frac{E_{дин}}{2 \cdot G_{дин}}$$

### **Метод акустической эмиссии**

Основан на регистрации акустических волн в твердых телах, в основном при пластических деформациях и образовании упругих трещин. Регистрируя скорость движения волн эмиссии можно обнаружить зоны концентрации напряжений в металлах, развитие трещин в железобетоне, появления расслаивания в деревянных конструкциях.

### **Поляризационно-акустический метод контроля конструкций**

Идея метода практически совпадает с идеей поляризационно-оптического метода. Различие состоит в том, что исследуются непрозрачные материалы (конструкционные) и производится «прозвучивание» конструкций плоскополяризованным УЗК-лучом. Этим методом также как и поляризационно-оптическим можно определять траектории и величины главных напряжений в элементах конструкции.