

## Лекция 8

# **Обследование зданий и сооружений (продолжение)**

## Учебные вопросы:

1. **Оценка прочности металла**
2. **111**
3. **222**
4. **333**

# Область применения ультразвуковых методов

## Определение динамического модуля упругости

Скорость распространения упругих колебаний  $v$  связана с динамическим модулем упругости  $E_{дин}$  и плотностью проверяемого материала  $\rho$  соотношением, справедливым для случая продольных колебаний в стержне (одномерная задача).

$$v = \sqrt{\frac{E_{дин}}{\rho}}$$

Определив экспериментально скорость распространения волны колебаний в элементе, длина которого велика по сравнению с его поперечными размерами, находим.  $E_{дин} = v^2 \rho$ , если плотность материала известна.

В массивных и плитных конструкциях, т. е. для случаев трехмерной (пространственной) и двумерной задач, а также для поперечных колебаний зависимость между  $E_{дин}$  и  $v$  определяется более сложными соотношениями, в которые кроме входит также коэффициент Пуассона  $\mu$  рассматриваемого материала.

Для одновременного нахождения всех трех параметров ( $E_{дин}$ ,  $\rho$  и  $\mu$ ) необходимо сопоставление по крайней мере трех экспериментов по определению  $v$ , произведенных в разных условиях с применением продольных и поперечных колебаний и в конструкциях разной размерности - пространственных, плитных и стержневых.

## Область применения ультразвуковых методов

### Определение толщины элемента при одностороннем доступе

В серийно выпускаемых для этой цепи *толщиномерах* используется непрерывное излучение продольных ультразвуковых волн регулируемой частоты. На рисунке 3 показан график распространения колебаний (условно направленных не вдоль, а поперек направления луча) по толщине стенки. Дойдя до противоположной ее грани, волна отражается и идет в обратном направлении. Если проверяемый размер  $h$  точно равен длине полуволны (или кратен этой величине), а противоположная грань соприкасается с менее плотной средой, то прямые и отраженные волны совпадают. Амплитуды колебания самой пьезопластинки при этом резко возрастают (явление резонанса), что сопровождается соответствующими изменениями на ее

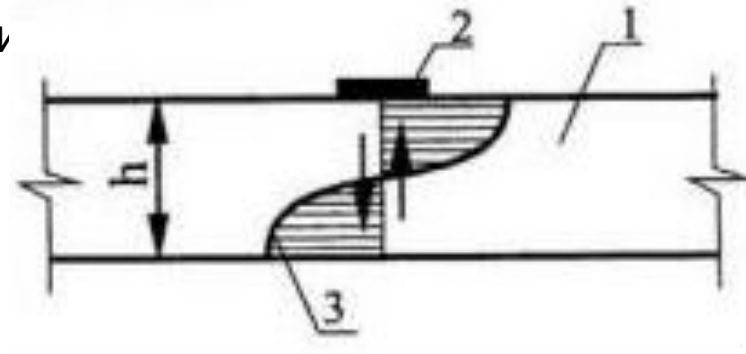


Рисунок 3 - Схема измерения толщины резонансным методом; 1 - исследуемая деталь; 2 - пьезоэлемент; 3 - совпадающие амплитуды прямой и обратной «стоячей» волны;  $h$  - толщина детали

## Область применения ультразвуковых методов

### **Определение толщины элемента при одностороннем доступе**

Замерив соответствующую резонансную частоту  $f$  и зная скорость распространения волн по длине  $2h$  (суммарный ход прямого и отраженного лучей), находим проверяемую толщину по формуле:

$$h = \frac{v}{2f}$$

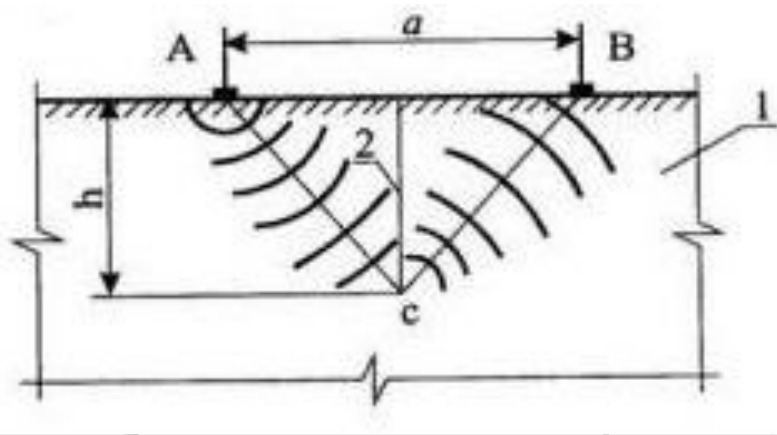
Для стали скорость продольных ультразвуковых волн практически постоянна ( $v = 5,7 \cdot 10^5$  см/сек), что даст возможность, меняя частоту в пределах от 20 до 100 000 Гц надежно измерять толщину стенок от долей миллиметра до нескольких сантиметров.

[В начало](#)

## Область применения ультразвуковых методов

### Определение глубины трещин в бетоне

Излучающий и приемный преобразователи  $A$  и  $B$  располагаются симметрично относительно краев трещины на расстоянии  $a$  друг от друга (рисунок 4).



Колебания, возбужденные в точке  $A$ , попадут в точку  $B$  по кратчайшему пути:

$$ACB = \sqrt{4h^2 + a^2}$$

где  $a$  - глубина трещины.

[В начало](#)

## Область применения ультразвуковых методов

### **Определение глубины трещин в бетоне**

При скорости  $v$  на это потребуется время, определяемое экспериментально

$$t_k = \sqrt{\frac{4h^2 + a^2}{v}}$$

Глубину трещины находим из соотношения

$$h = \frac{v}{2} \sqrt{t_k^2 - \left(\frac{a}{v}\right)^2}$$

где скорость  $v$  определяется обычно на неповрежденных участках поверхности

[В начало](#)

## Оценка прочности металла

Прочность стали эксплуатируемых конструкций оценивают:

- по данным заводских сертификатов;
- по результатам лабораторных испытаний;
- неразрушающими методами.

### ***Метод отбора проб из конструкции***

Образцы из сортового и фасонного проката вырезаются вдоль направления прокатки огнем с отступом на 10 мм от грани будущей заготовки (припуски для предохранения образца от наклёпа и нагрева). Из листового металла образцы вырезают поперёк или в направлении силового потока, если направление прокатки не известно.

Образцы предпочтительно отбирать из ненагруженных или малонагруженных участков элемента. Вырезки заполняются сваркой вставок с усилением их накладками.

Образцы испытывают на растяжение и ударную вязкость стандартизированными лабораторными методами. Химический состав металла определяют на пробах в виде стружки.

Все замечания о трудностях и недостатках метода, описанные выше для бетонных образцов, распространяются и на образцы из металла.

[В начало](#)



## Оценка прочности металла

### Метод измерения пластической деформации

*Прибор Польди* ударного действия (Чехия, ГОСТ 22690.4). (Иногда встречается название «*Прибор Польди-Вайцмана*»).

Наконечником прибора является шарик 2 диаметром 10 мм из твердой закаленной стали, дающий при ударе отпечаток одновременно на исследуемом металле 1 и на стальном эталонном бруске 3, твердость которого  $HV^{ЭТ}$  должна быть заранее определена. Для получения отпечатков ударяют молотком по верхнему торцу стержня 4.

Рисунок 1 - Схема прибора Польди

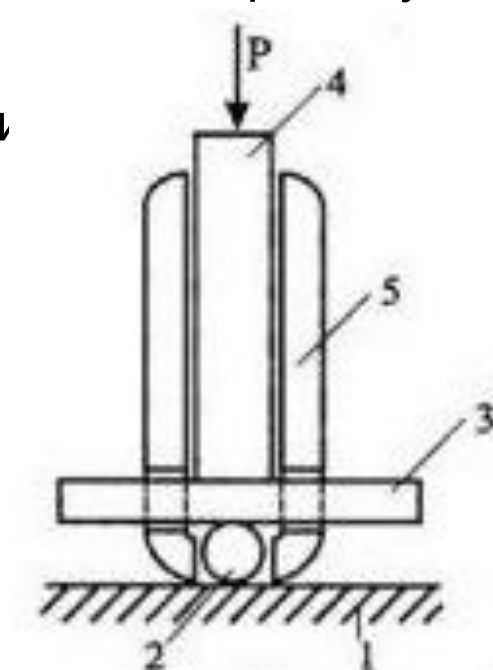
1 - исследуемый материал;

2-стальной шарик;

3- эталонный брусок;

4- ударный стержень;

5- обойма прибора



[В начало](#)

## Оценка прочности металла

### Метод измерения пластической деформации

Твердость НВ исследуемого металла испытываемой конструкции определится из соотношения

$$HB = HB^{эм.} \cdot \frac{D - \sqrt{D^2 - d_{эм}^2}}{D - \sqrt{D^2 - d^2}}$$

где  $D$  - диаметр стального шарика 2 (рис.2);

$d$  - диаметр отпечатка на поверхности исследуемого материала;

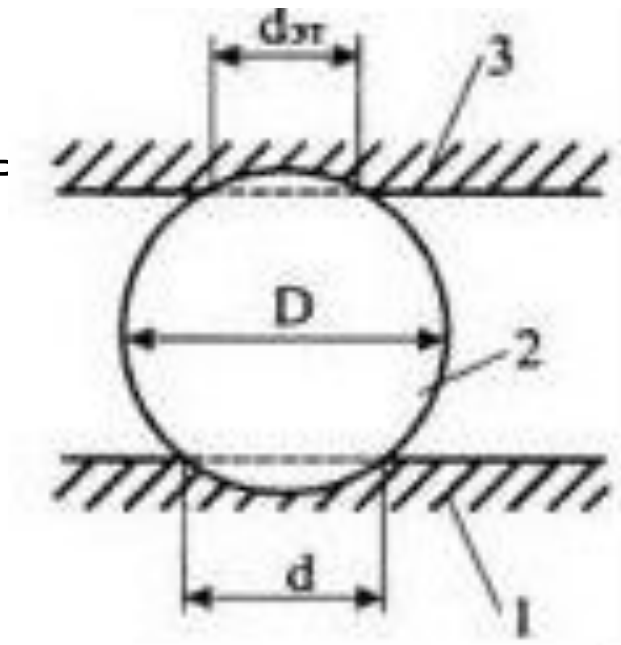
$d_{эм}$  - то же. на эталонном бруске.

Рисунок 2 - Отпечатки, получаемые с помощью прибора Поля

1 - исследуемый материал;

2 - стальной шарик;

3 - эталонный брусок



[В начало](#)

# Акустические методы определения прочности бетона и арматуры в бетонных и железобетонных конструкциях

## Источники ультразвука

Для возбуждения ультразвуковых волн на поверхность материала может устанавливаться преобразователь переменного электрического тока в механические колебания.

Такое преобразование способны совершать кристаллы кварца, сегнетовой соли, сульфата лития, сульфоиодита сурьмы, титаната бария. Деформация кристаллов под действием приложенного к ним электрического тока называется **обратным пьезоэффектом**.

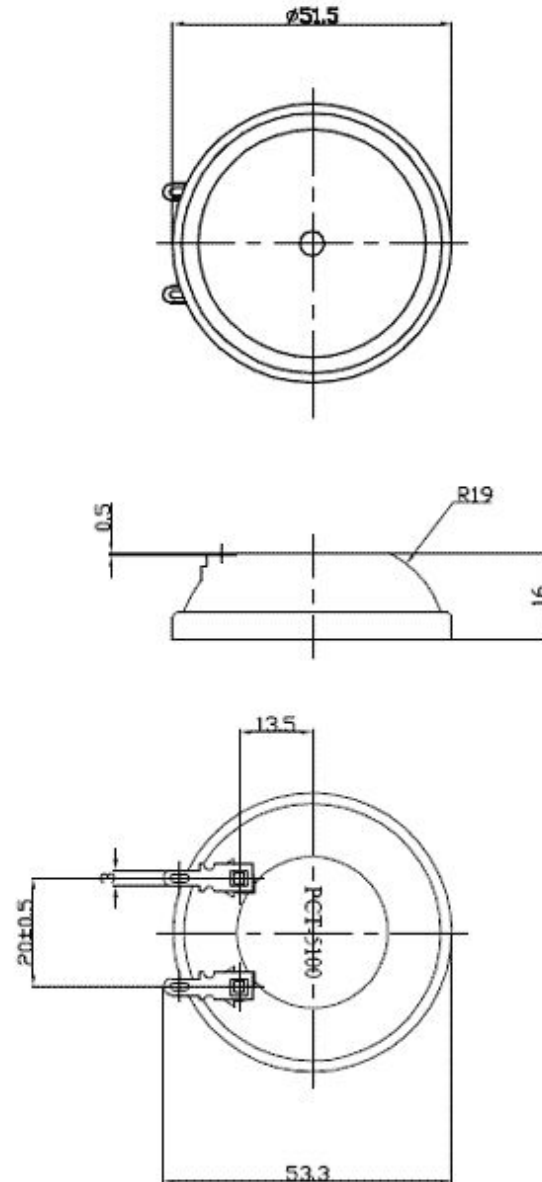
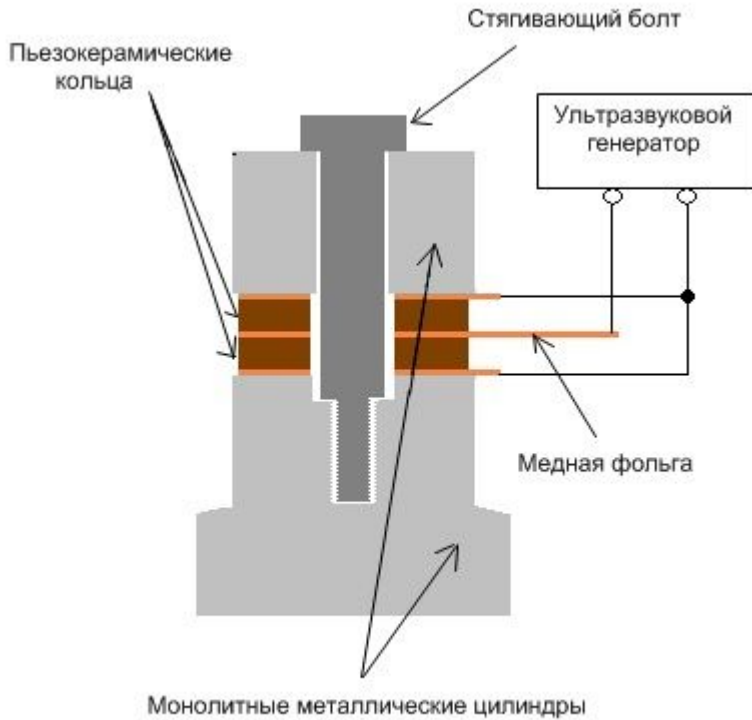
**Прямой пьезоэффект** заключается, наоборот, в поляризации поверхности кристаллов в результате их деформации.

По принципу обратного пьезоэффекта работает источник ультразвуковых волн, по принципу прямого пьезоэффекта - приёмник волн



# Акустические методы определения прочности бетона и арматуры в бетонных и железобетонных конструкциях

## Источники ультразвука

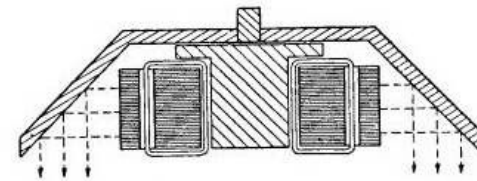
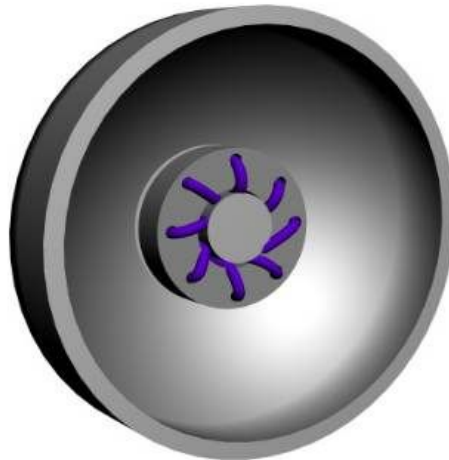
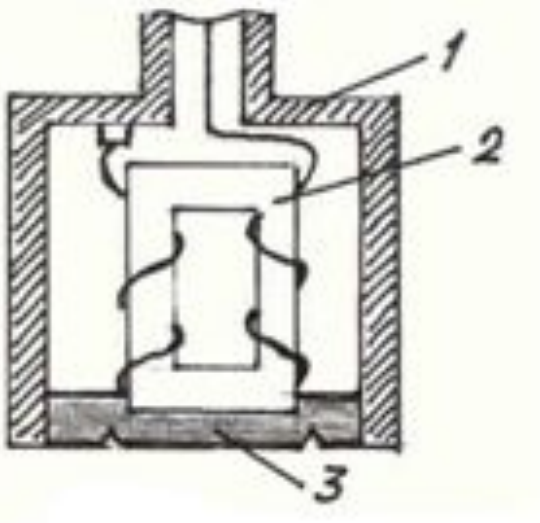
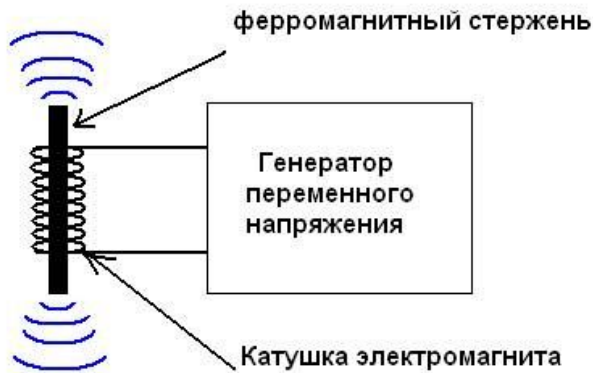


[В начало](#)

# Акустические методы определения прочности бетона и арматуры в бетонных и железобетонных конструкциях

## Источники ультразвука

Существуют и **магнитострикционные** источники ультразвука. Они состоят из магнитостриктора 2 (собирается из тонких изолированных  $\epsilon$  никеля), обладающего свойством под поля сжиматься и растягиваться, металлической икрепленной к корпусу 1. Через катушку чый электрический ток (в источнике волн) или, ает ток (в приёмнике волн).



[R начало](#)

# Акустические методы определения прочности бетона и арматуры в бетонных и железобетонных конструкциях

## Источники ультразвука

Ультразвуковые приборы, используемые в России: Бетон-70, А 1220 Монолит и др.



[В начало](#)

# **Акустические методы определения прочности бетона и арматуры в бетонных и железобетонных конструкциях**

## **Источники ультразвука**

Регистрация ультразвуковых колебаний - от приёмника через усилитель на экран осциллографа или цифровой индикатор.

Первое важное *свойство* ультразвука: он практически полностью затухает в воздухе (это позволяет выявить наполненные воздухом дефекты в материале). Это свойство настолько сильно, что для устранения воздушной прослойки между преобразователями и материалом обязательно наносят контактирующую среду: для металла - минеральное масло, для бетона - солидол, технический вазелин или эпоксидную смолу.

Второе важное свойство ультразвука - отражаться от противоположной грани элемента.

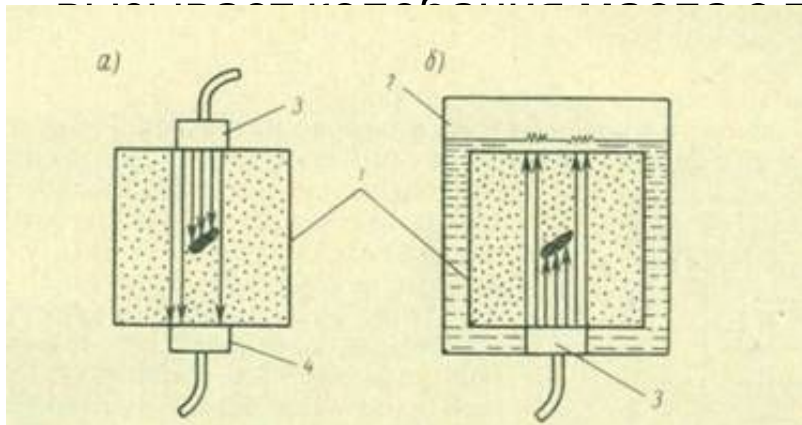
[В начало](#)

# Акустические методы определения прочности бетона и арматуры в бетонных и железобетонных конструкциях

## Способы прозвучивания.

Метод **прямого прозвучивания** — теневой метод, разработанный раньше других, отличается простотой аппаратуры и используется в промышленности для определения внутренних дефектов в материалах и изделиях. Сущность метода заключается в том, что ультразвуковые волны при прохождении через испытуемый образец с внутренним дефектом могут рассеиваться, отражаться и образовывать тень от встретившегося дефекта. Тень от дефекта с противоположной стороны образца улавливается приемным щупом и фиксируется изменением яркости на электроннолучевой трубке или фиксируется визуально по состоянию поверхности масла.

Участок образца с дефектом не пропускает через себя волны и не улавливает их на противоположной стороне образца.



готов теневым методом: а -с помощью

зец;  
злучатель;

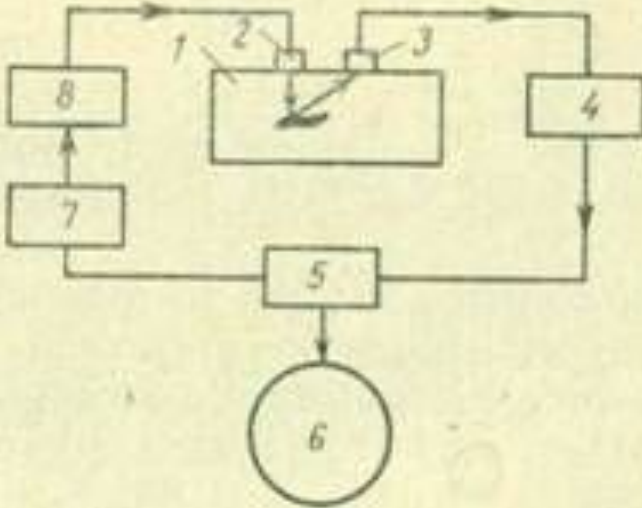


# Акустические методы определения прочности бетона и арматуры в бетонных и железобетонных конструкциях

## Способы прозвучивания.

Метод **отраженных колебаний** — эхо-метод, наиболее широко используемый для контроля строительных материалов и изделий, обладает большей чувствительностью по сравнению с теневым методом. Этот метод основан на отражении упругих волн от дефекта испытуемого изделия и предусматривает измерение двух параметров одновременно — амплитуды отраженного сигнала и времени прохождения этого сигнала от дефекта до поверхности образца. Время прохождения сигнала может измеряться с помощью импульсных частотно-модулированных и резонансных систем. Наибольшее распространение при дефектоскопии получили импульсные системы.

Блок-схема ультразвукового эхо-дефектоскопа: 1 — контролируемое изделие; 2 — излучатель ультразвука; 3 — приемник ультразвука; 4 — усилитель сигнала, фиксирующий время; 5 — блок управления; 6 — частотный генератор



[В начало](#)

# **Акустические методы определения прочности бетона и арматуры в бетонных и железобетонных конструкциях**

## **Способы прозвучивания**

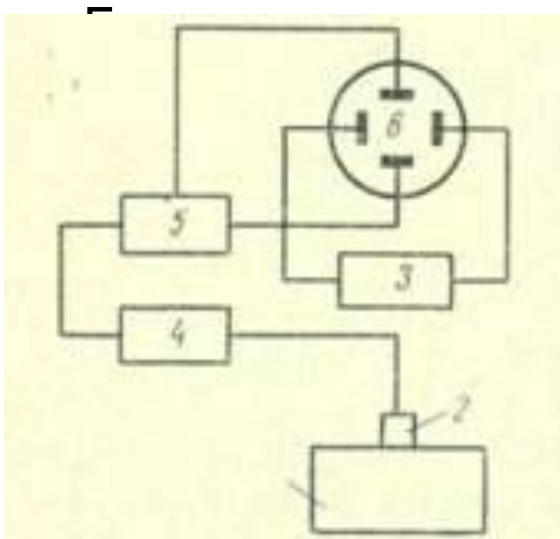


[В начало](#)

# Акустические методы определения прочности бетона и арматуры в бетонных и железобетонных конструкциях

## Способы прозвучивания.

**Резонансный метод.** Для контроля толщины изделий при одностороннем к ним доступе, а также для выявления в материалах и изделиях всевозможных дефектов в виде расслоений и ослабленных участков в результате коррозии или действия мороза широко используется ультразвуковой резонансный метод, сущность которого заключается в том, что между частотой, длиной волны, толщиной испытуемого изделия и скоростью распространения волны существует определенная зависимость.



вукового резонансного дефектоскопа:  
е изделие: 2 — излучатель ультразвука; 3 —  
с частотной модуляцией;  
электроннолучевая трубка

[В начало](#)

## ***Акустические методы определения прочности бетона и арматуры в бетонных и железобетонных конструкциях***

### ***Способы прозвучивания.***

**Резонансный метод.** При прохождении ультразвуковых колебаний последние, дойдя до границы раздела, отражаются от нее и снова попадут на преобразователь. В случае если частота ультразвуковых колебаний совпадет с собственной частотой испытуемого изделия, возникает резонанс, по характеру которого и судят о наличии дефекта. При наличии дефекта резонанс возникает не на собственной частоте изделия.

[В начало](#)

## ***Акустические методы определения прочности бетона и арматуры в бетонных и железобетонных конструкциях***

### ***Способы прозвучивания.***

**Метод свободных колебаний** основан на использовании свойств твердого тела, совершающего свободные колебания. Основные характеристики колеблющегося тела, как период и частота колебаний, коэффициент затухания, зависят от параметров, массы и других физико механических свойств тела.

Изделие, не имеющее дефектов, рассматривается как система с определенными колебательными параметрами. При наличии дефекта, изменяющего однородность материала изделия, будут изменяться и параметры колебательной системы, т. е. частота и коэффициент затухания свободных колебаний будут изменяться- Метод свободных колебаний используется для контроля клееных соединений, а также при испытании бетона.

[В начало](#)

## ***Акустические методы определения прочности бетона и арматуры в бетонных и железобетонных конструкциях***

### ***Способы прозвучивания.***

**Импедансный метод** наиболее широко используется для контроля качества клееных разнородных материалов, отличающихся друг от друга своими физико-механическими свойствами. С помощью этого способа контроля удастся выявить дефекты в зонах склеивания материалов и установить качество их склеивания.

Импедансный метод контроля (разработанный Ю. А. Ланге и А. В. Римским-Корсаковым) основан на зависимости механического импеданса склеенного изделия от качества склейки составляющих его частей. В этом случае используется датчик, состоящий из двух пьезоэлементов, соединенных звукопроводящим стержнем. Датчик прижимается к изделию и возбуждает изгибные колебания. По величине реакции изделия на этот датчик судят о значении механического импеданса.

[В начало](#)

## ***Акустические методы определения прочности бетона и арматуры в бетонных и железобетонных конструкциях***



[В начало](#)

## **Акустические методы определения прочности бетона и арматуры в бетонных и железобетонных конструкциях**

**Определение скорости звука.** Чем более рыхлую структуру имеет бетон, тем больше воздушных прослоек встретит на своем пути ультразвуковая волна, тем сильнее уменьшится её скорость. Сравнивая скорость прохождения волны сквозь бетон обследуемого объекта со скоростями прохождения её через эталонные бетонные образцы разной прочности (разной степени рыхлости), определяем прочность бетона объекта. Иными словами, для определения прочности бетона объекта достаточно воспользоваться уже существующей эмпирической зависимостью

$$R = f (v).$$

[В начало](#)



## ***Акустические методы определения прочности бетона и арматуры в бетонных и железобетонных конструкциях***

### ***Молоток***

Для приближённой оценки прочности бетона можно применить обычный молоток. При ударе по бетону непрочному звук получается «глухим», создаётся впечатление, что молоток как бы погружается в бетон. Чем прочнее бетон, тем звук становится всё более «звонким», а молоток «отскакивает» от бетона всё сильнее. Это – симбиоз методов измерения пластических деформаций, упругого отскока и акустического (шутка). С накоплением опыта такое испытание позволяет получить вполне достоверные результаты.

[В начало](#)

## ***Акустические методы определения прочности бетона и арматуры в бетонных и железобетонных конструкциях***

Неразрушающие методы оценки механических характеристик **арматуры** ещё только разрабатываются. Поэтому механические характеристики оцениваются по виду профиля арматуры, устанавливаемого при её вскрытии, или испытанием образцов арматуры, вырезанных из слабо загруженных участков конструкций.

[В начало](#)