

Неразрушающие методы контроля строительных конструкций

1. Сейсмостойкость зданий и сооружений
2. Магнитный метод контроля армирования ЖБК
3. Ультразвуковая дефектоскопия ЖБК и МК
4. Метод проникающих сред

Сейсмостойкость зданий и сооружений



Термины

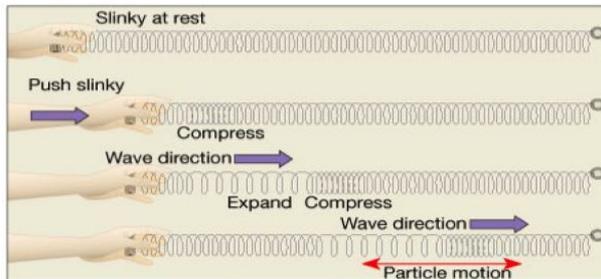
- Сейсмостойкость зданий — совокупность параметров объекта, которая позволит ему выдержать определенную нагрузку в случае землетрясения.
- Сейсмобезопасность — комплекс мер, направленный на минимизацию разрушительных последствий, вызванных подземными толчками различной силы.

Типы волн

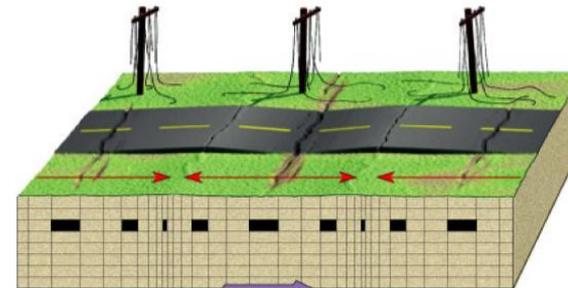


Типы волн

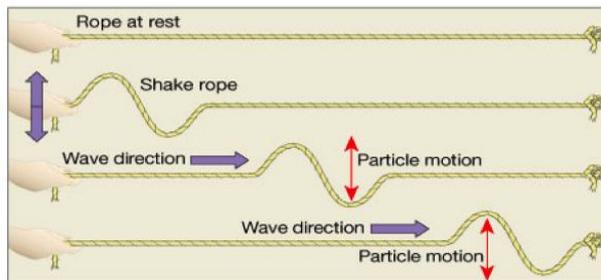
Объемные
волны



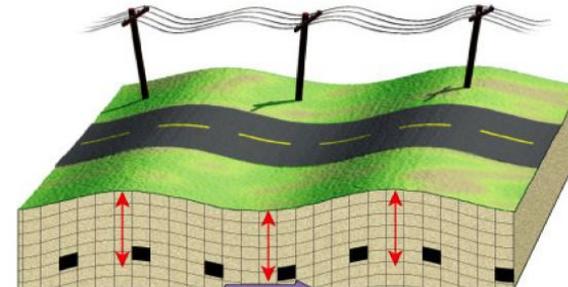
P waves are compression waves that alternately compress and expand the material through which they pass.



The back-and-forth motion produced as P waves travel along the surface can cause the ground to buckle and fracture.

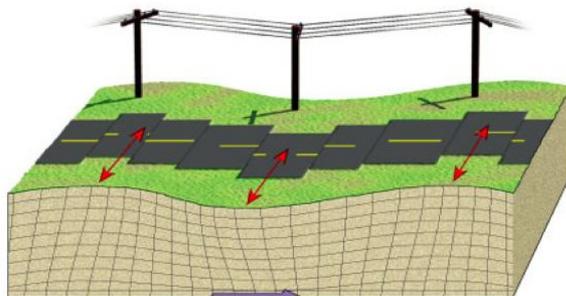


S waves are transverse waves which cause material to shake at right angles to the direction of wave motion. The length of the red arrow is the displacement, or amplitude, of the S wave.

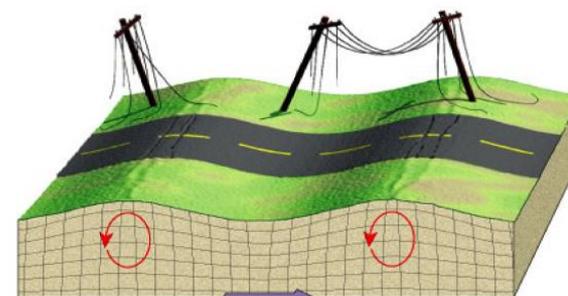


S waves cause the ground to shake up-and-down and sideways.

Поверхностны
е волны

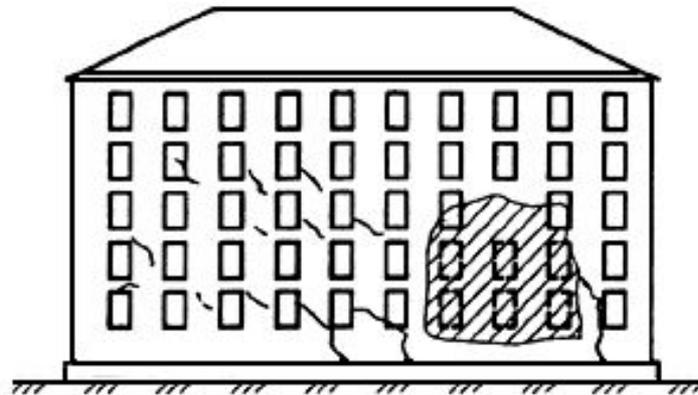


One type of surface wave moves the ground from side to side and can damage the foundations of buildings.



Another type of surface wave travels along Earth's surface much like rolling ocean waves. The arrows show the movement of rock as the wave passes. The motion follows the shape of an ellipse.

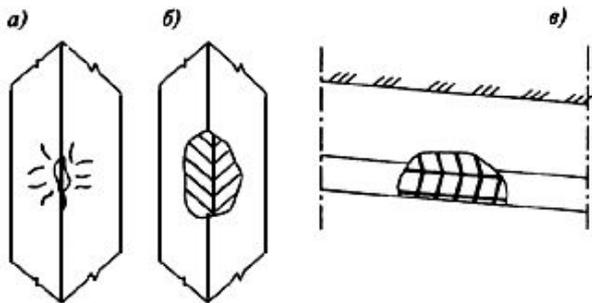
Виды разрушения каменных конструкций



В каменных зданиях и сооружениях при землетрясении обычно происходят следующие повреждения:

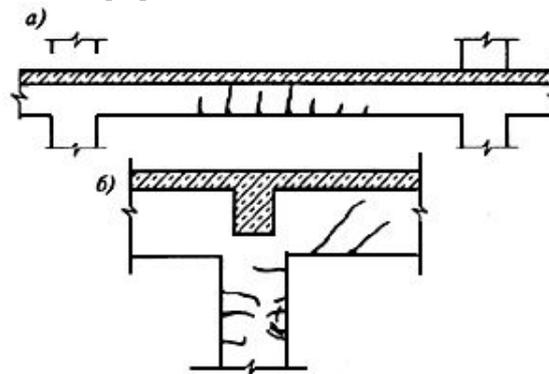
- отрыв наружной продольной стены здания от поперечных стен. Об этом свидетельствует вертикальная трещина в их примыканиях;
- в простенках помимо трещин часто расслаивается кладка, а в углах возле перемычек образуются выколы и даже обрушения
- в местах сопряжения металлических и железобетонных конструкций (балки перекрытий, обвязки, элементы лестничных клеток и лифтовых коробок) с каменной кладкой образуются различные выколы, расслоения, раздавливания и другие повреждения
- в угловых соединениях и крестообразных пересечениях стен образуются
- вертикальные и ступенчатые (по шву кладки) трещины и нарушения монолитности кладки.

Наиболее характерные повреждения элементов ЖБК



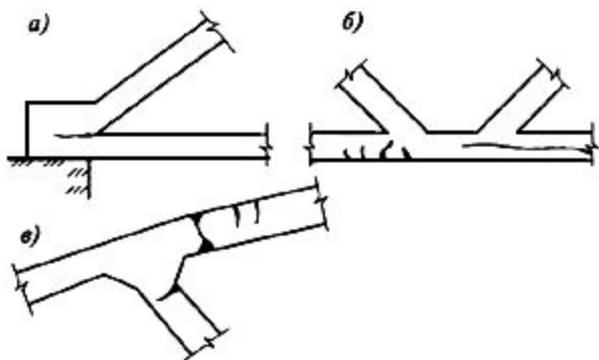
а - начальные трещины в основании колонны;
 б и в - обнажение арматурного каркаса на колонне и балке перекрытия

Рисунок 1 - Повреждение защитного слоя железобетонной конструкции



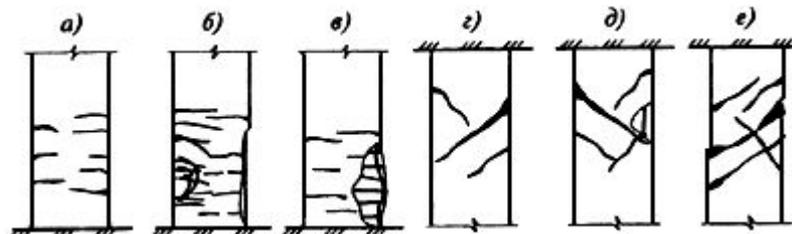
а - начальные трещины в основании колонны;
 б и в - обнажение арматурного каркаса на колонне и балке перекрытия

Рисунок 1 - Повреждение защитного слоя железобетонной конструкции



а - трещины от скалывающих усилий в опорном узле; б - трещины, вызванные растяжением нижнего пояса и поперечными силами в одном из узлов этого пояса; в - раздробление бетона в сжатом элементе верхнего пояса и трещина отрыва в нисходящем раскосе

Рисунок 3 - Разрушение элемента железобетонной фермы



а-в - повреждение при увеличении изгибающего момента;
 г-е - повреждение стоек каркаса при недостаточном косвенном их армировании

Рисунок 4 - Стадии повреждения колонн

Причины и виды разрушения и повреждений металлических конструкций

Некачественный
монтаж

Малые размеры
сечений
конструкций,
подобранные при
проектировании

Работа на пределе
расчетных
характеристик по
прочности в
отдельных узлах

Наиболее опасное предельное
состояние – **потеря
устойчивости**

Основные принципы проектирования зданий и сооружений для обеспечения сейсмобезопасности

необходимо уменьшать сейсмические нагрузки за счет применения эффективных конструктивных схем и облегченных несущих и ограждающих конструкций

объемно-планировочное и конструктивное решение зданий и сооружений должно удовлетворять условиям симметрии и равномерного распределения масс и жесткостей

основные несущие конструкции должны быть по возможности монолитными и однородными, а в сборных железобетонных конструкциях следует стремиться к укрупнению типоразмеров элементов;

стыки сборных элементов должны быть простыми, надежными и располагаться вне зон максимальных усилий

при проектировании металлических и железобетонных конструкций необходимо предусматривать мероприятия, облегчающие или обеспечивающие возможность пластических деформаций в элементах или в стыках между ними; при этом должна обеспечиваться общая устойчивость сооружения

Основные конструктивные меры предотвращения сейсмических разрушений

Основные конструктивные меры

Устройство антисейсмических швов по высоте здания

Лестничные клетки в роли ядер жесткости

Обеспечение свободного смещения лестничного марша относительно одной из опор

Перекрытия в виде жестких горизонтальных дисков

Перегородки из крупно панельных или каркасных конструкций

Магнитный метод контроля параметров армирования ЖБК

Наименование	ИПА-МГ4	ПОИСК-2.5	NOVOTEST Арматуроскоп	ArmoCondrol	Prfometer 5+ Scanlog
Вид устройства					
Диапазон измерения толщины защитного слоя, мм	3...140	0...130	1...100	2...120	5...180
Контролируемые диаметры, мм	3...40	3...50	3...50	3...50	5...75
Погрешность измерения, мм	$\pm(0,05h_{zc}+0,5)$	$\pm(0,05h_{zc}+0,5)$	$\pm(0,05h_{zc}+0,5)$	$\pm(0,05h_{zc}+0,5)$	$\pm(0,05h_{zc}+0,5)$

Ультрозвуковая дефектоскопия ЖБК и МК



Термины

- **Дефектоскопия** (от лат. defectus — недостаток), комплекс методов и средств неразрушающего контроля материалов и изделий с целью обнаружения дефектов. **Дефектоскопия** включает: разработку методов и аппаратуру (дефектоскопы и др.); составление методик контроля; обработку показаний дефектоскопов.
- **Ультразвуковая дефектоскопия**, группа методов дефектоскопии, в которых используют проникающую способность упругих волн ультразвукового диапазона частот (иногда звукового).
- **Ультразвуковая дефектоскопия** - один из наиболее универсальных способов неразрушающего контроля, методы которого позволяют обнаруживать поверхностные и глубинные дефекты - трещины, раковины, расслоения в металлических и неметаллических материалах (в том числе сварных и паяных швах, клеёных многослойных конструкциях), определять зоны коррозии металлов, измерять толщину (резонансный метод).

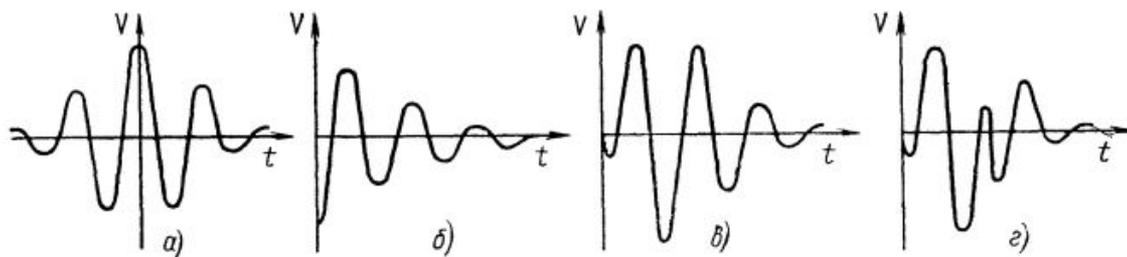
Ультразвук

- **Ультразвук** – упругие колебания и волны высокочастотной части спектра акустических волн. Как известно, в зависимости от частоты упругие волны подразделяют на инфразвуковые (с частотой до 20 Гц), звуковые (от 20 до $2 \cdot 10^4$ Гц), ультразвуковые (от $2 \cdot 10^4$ до 10^9 Гц) и гиперзвуковые (свыше 10^9 Гц). Акустические (упругие) волны – распространяющиеся в упругой среде механические возмущения (деформации). Упругие волны могут возникать в любой среде – твердой, жидкой и газообразной. Возмущения от источника передаются частицам среды, которые также начинают колебаться относительно своей точки равновесия. Эти колебания передаются соседним частицам, которые также начинают колебаться, затем колебания передаются все новым и новым частицам и в среде возникает упругая волна. Пространство, в котором распространяются упругие волны, – звуковое или акустическое поле. Упругие волны характеризуются следующими параметрами: длиной λ , частотой f и скоростью распространения c , которые связаны зависимостью $\lambda = c/f$.

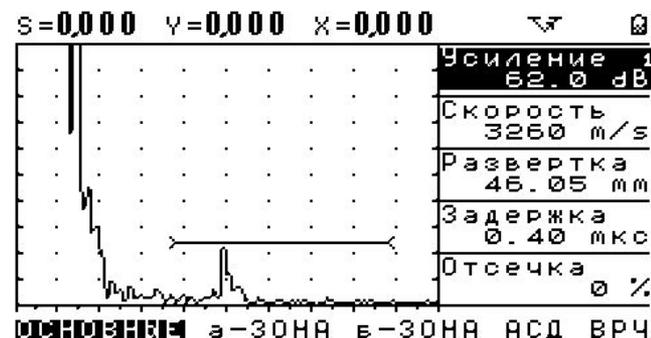
Импульсные ультразвуковые дефектоскопы

В импульсных дефектоскопах используются эхо-метод, теневой и зеркально-теневой методы контроля.

- Эхо-метод основан на посылке в изделие коротких импульсов ультразвуковых колебаний и регистрации интенсивности и времени прихода эхосигналов, отражённых от несплошностей (дефектов).
- При теневом методе ультразвуковые колебания, встретив на своём пути дефект, отражаются в обратном направлении.
- Зеркально-теневой метод используют вместо или в дополнение к эхо-методу для выявления дефектов, дающих слабое отражение ультразвуковых волн в направлении раздельно-совмещенного преобразователя.

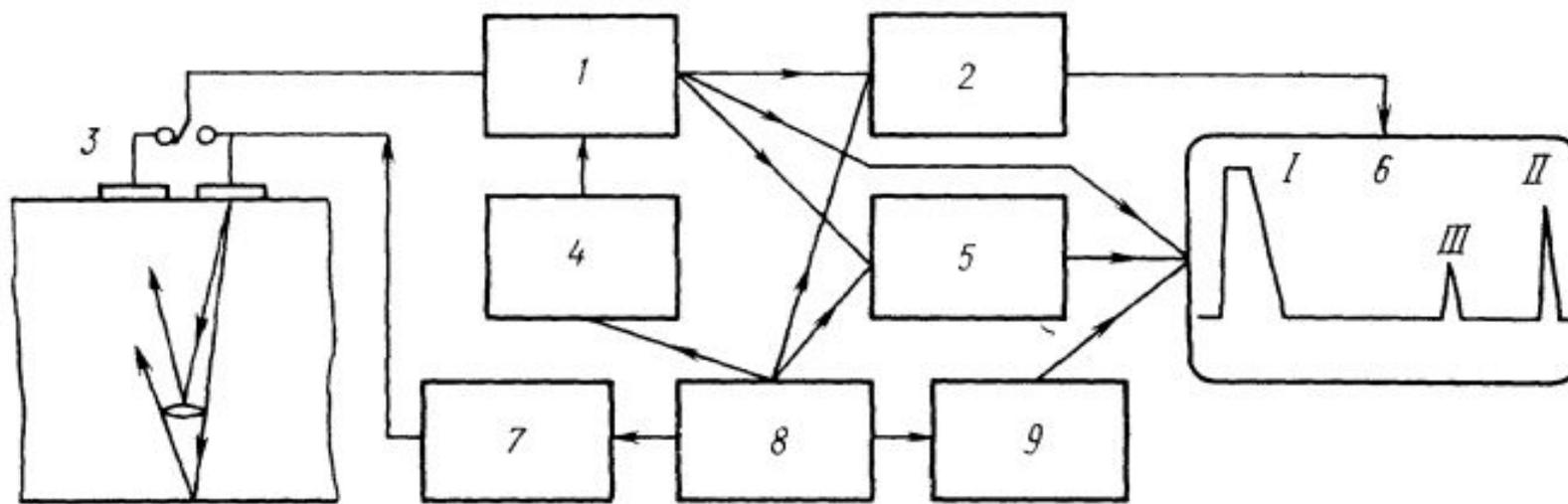


Форма импульсов генератора дефектоскопа (а, б) и принимаемых импульсов (в, г)



Структурная схема импульсного дефектоскопа

Генератор импульсов 7 вырабатывает импульс электрических колебаний, возбуждающий ультразвуковые колебания в преобразователе 3. Отраженные от дефекта сигналы поступают на вход усилителя. Коэффициент усиления регулируется во времени с помощью системы 4 временной регулировки. Далее сигнал поступает на вход индикатора 6 и автоматического сигнализатора дефектов. Синхронизатор 8 обеспечивает требуемую последовательность работы узлов прибора и приводит в действие генератор развертки 9 индикатора.



Структурная схема импульсного дефектоскопа

Способы ввода УЗ волн в изделие

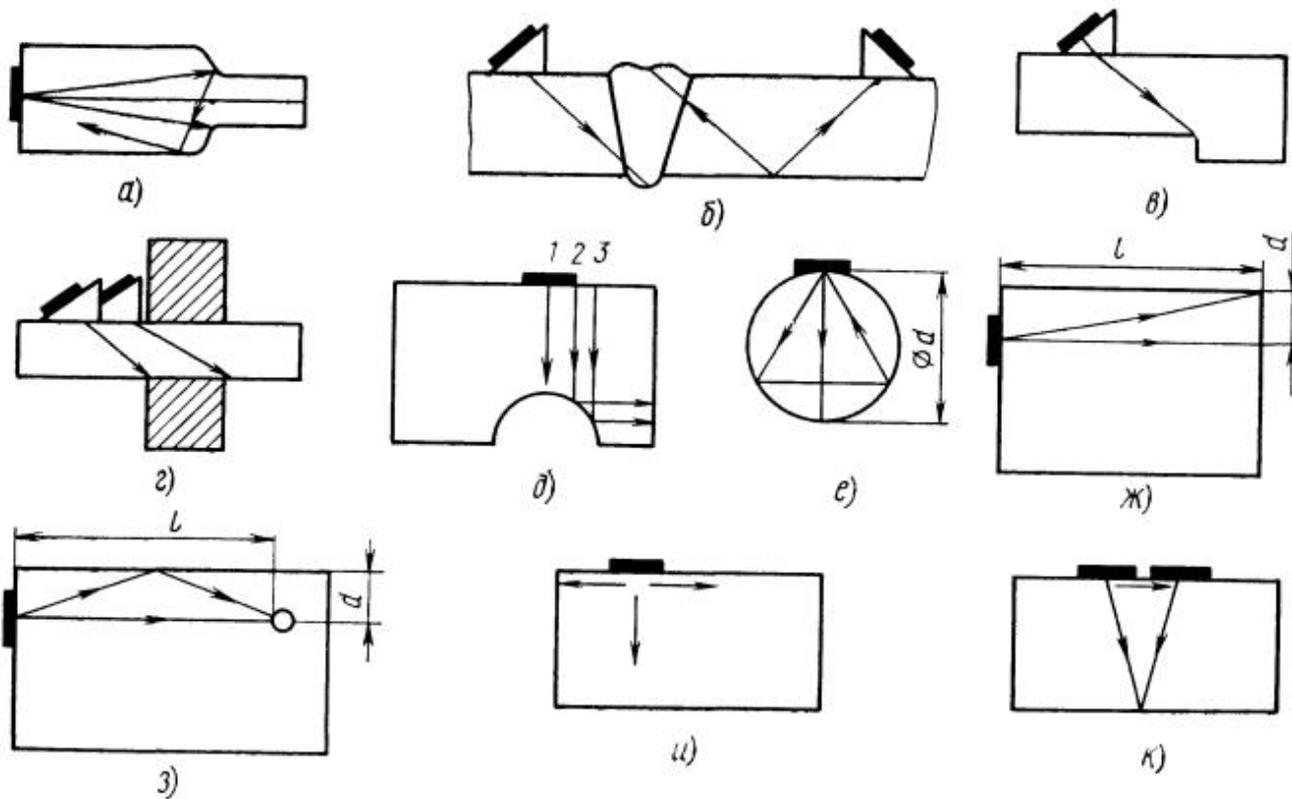
Ультразвуковые волны вводят в контролируемое изделие и принимают отраженные сигналы бесконтактным, контактными сухим (без промежуточной жидкости), контактными через тонкий слой жидкости, струйным и иммерсионными способами.

- **При контактном способе** преобразователь прижимают к поверхности изделия. Возбужденные УЗК от пьезоэлемента распространяются в металле в виде направленного пучка лучей. Если контроль ведется в звуковом диапазоне, то преобразователь и изделие обычно контактируют без смазки (сухой контакт).
- **При струйном способе** между преобразователем и изделием создается зазор, в который непрерывно подается контактная жидкость. В этом случае минимальная толщина слоя жидкости задается ограничителем, создающим между преобразователем и изделием определенный зазор. Этот способ акустической связи используется, если поверхность контролируемого изделия расположена вертикально или имеет переменную кривизну.
- **При иммерсионном способе** акустическая связь между преобразователем и изделием создается значительным слоем жидкости. Для этого преобразователь и изделие полностью погружаются в ванну с водой. Так как скорость распространения продольных волн в воде примерно в четыре раза меньше, чем в металлах, то расстояние от преобразователя до передней поверхности изделия должно быть больше четверти толщины изделия.

«Мертвые» зоны и способы их устранения

- Важной характеристикой чувствительности ультразвукового контроля является размер мертвой зоны. Наличие мертвой зоны – основной недостаток эхо-метода, который в некоторых случаях ограничивает его применение, снижает надежность и эффективность контроля.
- Мертвая зона представляет собой неконтролируемый поверхностный слой, в котором сигнал от дефекта накладывается на зондирующий импульс. Наличие большой мертвой зоны нежелательно, так как приходится увеличивать припуск на обработку изделия и повышать, таким образом, стоимость изготовления. Величина мертвой зоны для прямых преобразователей составляет 40 мм при $f=0.7$ МГц, 15 мм при $f=1.5$ МГц, 6-8 мм при $f=2.5$ МГц и 5-6 мм при $f=4-5$ МГц.
- Одним из путей повышения разрешающей способности и сокращения мертвой зоны является уменьшение длительности зондирующего импульса путем механического демпфирования пьезоэлемента преобразователя, электрической компенсации колебаний пьезоэлемента в режиме излучения и т.д. Механическое демпфирование заключается в том, что к пьезоэлементу приклеивают массивный демпфер, жесткая связь с которым приводит к тому, что после действия возбуждающего колебания последнего быстро затухают. Однако при таком демпфировании снижается добротность колебательного контура и мощность возбуждаемых УЗК.

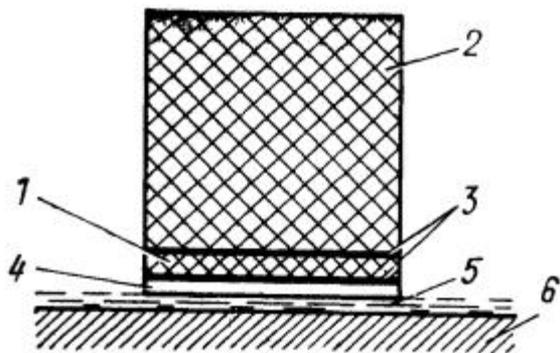
Ложные сигналы при контроле изделий



УЗ преобразователи

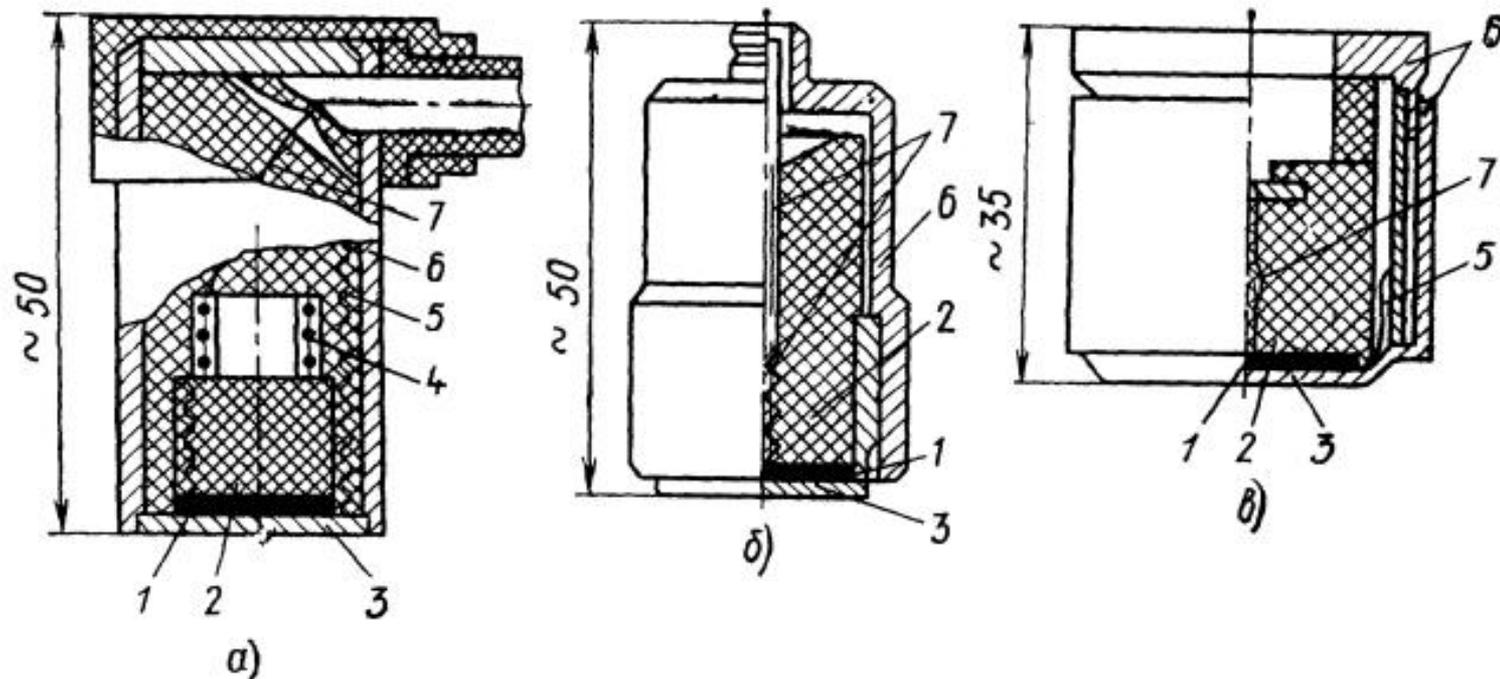
В современных ультразвуковых дефектоскопах применяются преобразователи, рассчитанные на работу по контактному и иммерсионному способам, с возбуждением в контролируемом изделии преимущественно продольных, сдвиговых, поверхностных и нормальных волн. По конструктивному исполнению преобразователи бывают прямыми и наклонными, раздельными, совмещенными и раздельно-совмещенными, с плоской или фигурной контактной поверхностью. Они могут посылать УЗК в изделие по нормали к его поверхности, под углом к нормали или по самой поверхности.

Все преобразователи имеют следующие элементы: корпус, пьезоэлемент, электроды, демпфер, защитное доньшко и контактное устройство. В преобразователь могут входить дополнительные элементы для стабилизации силы его прижатия к поверхности контролируемого изделия, подачи контактной среды, изменения угла наклона пьезоэлемента, фиксирования преобразователя относительно детали и т. п.



1 – пластина, покрытая электродами 3.
Пластина наклеивается на демпфер 2.
Между пластиной и средой 6 излучается
Ультразвук располагается несколько
защитных слоев: электрод, протектор 4,
прослойка масла 5.

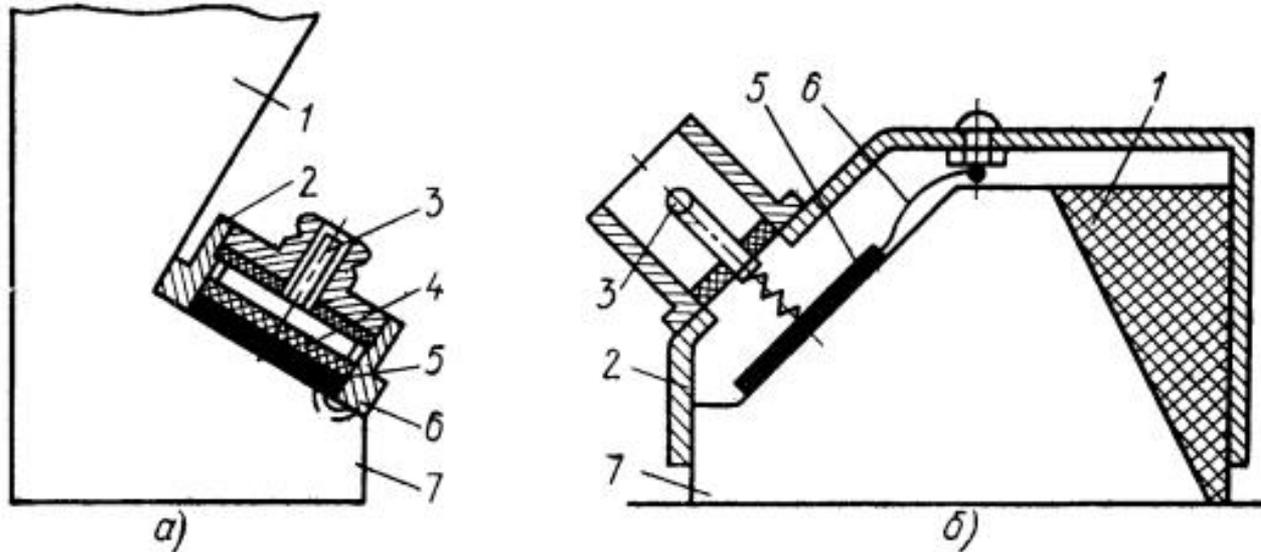
Преобразователи для контроля эхо-методом



Прямые преобразователи:

а — из комплекта «Снежинка», б — типа ИЦ 1, в — типа 4Q фирмы «Крауткре-
мер» (ФРГ)

Наклонные преобразователи



Наклонные преобразователи:

a — типа ИЦ, *b* — типа WB фирмы «Крауткремер» (ФРГ) 1 — ловушка, 2 — корпус, 3, 6 — соединяющие проводники, 4 — демпфер, 5 — пьезопластина, 7 — призма

Дефектоскопы

Наименование	УД2В-П46	УД2Н-ПМ	USLT 2000	USN 60
Вид устройства				
Материал	Сталь	Бетон, пластмасса, композитный материал	Сварные соединения	Сталь
Диапазон скоростей УЗ	1000 - 9999 м/с	100 - 4000 м/с	1000 - 15000 м/с	250 - 16000 м/с

Метод проникающих сред

Контроль проникающими веществами - основан на проникновении пробных (или проникающих) веществ в полости дефектов контролируемых объектов.

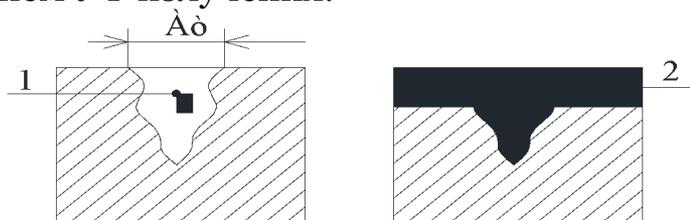
Данный вид контроля можно разделить:

- капиллярный метод контроля (применяется для выявления поверхностных и сквозных дефектов, основан на капиллярном проникновении в полости дефектов индикаторных жидкостей, хорошо смачивающих материал контролируемого изделия);
- контроль герметичности и течеистекания (применяется для выявления только сквозных дефектов (течей)).

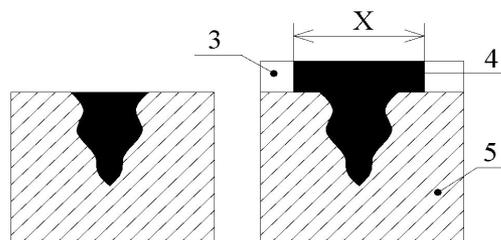
КНК предназначен для выявления поверхностных дефектов и их протяженности направления и характера распространения. КНК позволяет контролировать изделия любых размеров и форм, изготавливаемых из не/ферромагнитных черных и цветных металлов и сплавов, бетона, пластмасс, стекла, керамики и любых других твердых конструктивных материалов, которые не растворяются и не набухают в дефектоскопических материалах (ДМ).

Схема определения единичной трещины

При проведении контроля КМ на поверхность КО наносят слой материала индикаторного пенетранта, который способен проникать в дефекты и при этом имеет характерный цветовой тон или способен люминесцировать под действием УФ излучения.



После некоторой выдержки избыток индикаторного пенетранта (ИП) удаляется с контролируемой поверхности дефекта с помощью дефектоскопич. материалов – очистителей. При этом поверхностные и сквозные дефекты остаются заполненными ИП.



Затем на контролируемую поверхность наносят новый дефектоскопический материал – проявитель ИП, который вытягивает в оставшемся дефекте ИП. При этом он несколько расплывается под дефектным участком, образуется индикаторный след, который можно наблюдать при небольшом увеличении или порой невооруженным глазом.

Классификация методов НК в соответствии с ГОСТ 24522-80, ГОСТ 18353-79

По характеру индикаторных следов и способам их обнаружения НК подразделяют на 2 группы:

Основные – используют капиллярные явления;

Комбинированные – основаны на сочетании двух или более различных по физической сущности методов НК, одним из которых является капиллярный.

В свою очередь основные НК еще классифицируются

- по типу проникающего вещества:

- методы проникающих растворов;
- методы фильтрующихся суспензий;

- по способу получения первичной информации:

- яркостный (ахроматический);
- цветной (хроматический);
- люминесцентный;
- люминесцентно-цветной.

Под способом получения первичной информации подразумевается конкретный тип датчика или вещества, который используется для измерения и фиксации информационного параметра.

Комбинированный классифицируют в зависимости от характера физических параметров или излучений и особенностей их взаимодействия с КО. Выделяют 6 методов:

- капиллярно-электростатический;
- капиллярно-электроиндуктивный;
- капиллярно-магнитопорошковый;
- капиллярно-радиационный излучения;
- капиллярно-радиационный поглощения;
- капиллярно-акустический (в разработке).

Преимущества и недостатки метода

Преимущества:

- высокая чувствительность;
- высокая достоверность результатов контроля при правильной технологии контроля;
- наглядность результатов контроля;
- возможность контроля широких участков деталей или сварных соединений изделий за один прием;
- возможность контроля изделий сложной формы практически из любых материалов;
- простота и универсальность технологических операций контроля;
- относительно невысокая стоимость применяемых ДМ, аппаратного оборудования;
- возможность быстрой подготовки и переподготовки кадров контролеров.

Недостатки:

- возможность определения поверхностных дефектов (в основном) и затруднения при точном определении глубины дефектов;
- сложность механизации и автоматизации процесса контроля;
- громоздкость стационарного оборудования;
- достаточно большая продолжительность контроля;
- снижение достоверности результатов контроля при низких температурах;
- необходимость тщательной подготовки поверхности к контролю и удаления ДМ после проведения контроля;
- токсичность некоторых ДМ для персонала, в связи с этим необходимость использования различных защитных приспособлений и приточно-вытяжной вентиляции в службе НК на данном участке;
- ограниченный срок хранения ДМ;
- зависимость свойств ДМ от продолжительности хранения и температуры окружающей среды;
- субъективность контроля, которая зависит от психофизического состояния и квалификации дефектоскописта, в частности аккуратность, внимательность, добросовестность;
- в силу присущей КМК многооперационности контроль является трудоемким;
- обеспечение противопожарной безопасности и защиты персонала от вредного воздействия УФИ.

Преимущества и недостатки метода

Преимущества:

- высокая чувствительность;
- высокая достоверность результатов контроля при правильной технологии контроля;
- наглядность результатов контроля;
- возможность контроля широких участков деталей или сварных соединений изделий за один прием;
- возможность контроля изделий сложной формы практически из любых материалов;
- простота и универсальность технологических операций контроля;
- относительно невысокая стоимость применяемых ДМ, аппаратного оборудования;
- возможность быстрой подготовки и переподготовки кадров контролеров.

Недостатки:

- возможность определения поверхностных дефектов (в основном) и затруднения при точном определении глубины дефектов;
- сложность механизации и автоматизации процесса контроля;
- громоздкость стационарного оборудования;
- достаточно большая продолжительность контроля;
- снижение достоверности результатов контроля при низких температурах;
- необходимость тщательной подготовки поверхности к контролю и удаления ДМ после проведения контроля;
- токсичность некоторых ДМ для персонала, в связи с этим необходимость использования различных защитных приспособлений и приточно-вытяжной вентиляции в службе НК на данном участке;
- ограниченный срок хранения ДМ;
- зависимость свойств ДМ от продолжительности хранения и температуры окружающей среды;
- субъективность контроля, которая зависит от психофизического состояния и квалификации дефектоскописта, в частности аккуратность, внимательность, добросовестность;
- в силу присущей КМК многооперационности контроль является трудоемким;
- обеспечение противопожарной безопасности и защиты персонала от вредного воздействия УФИ.

Технологические операции

Технологические операции:

- подготовка объектов к контролю (контролируемой поверхности);
- сушка изделий до полного удаления различных растворов или очищающих составов из полостей дефектов;
- подготовка ДМ и проверка их качества;
- обработка КО дефектоскопическими материалами:
- нанесение на контролируемую поверхность изделий ИП;
- удаление избытка пенетранта с контролируемой поверхности изделий;
- удаление очищающих составов с контролируемой поверхности;
- сушка поверхности КО;
- нанесение на поверхность проявителя пенетранта;
- проявление дефектов;
- осмотр и обнаружение дефектов видимым или длинноволновым УФИ;
- расшифровка и анализ результатов контроля
- подготовка поверхности КО к эксплуатации (очистка поверхности от ДМ).