Санкт-Петербургский Государственный Политехнический Университет

Институт Металлургии, Машиностроения и Транспорта

Кафедра Технологии и Исследования Материалов

ДОКЛАД

на тему: **«Акустические методы неразрушающего контроля»**

Выполнила: студентка гр. 43314/1 Шумко А. М.

Принял: доцент Новиков Е. В.

Санкт-Петербург

2015

Оглавление

[Введение 3](#_Toc416044040)

[Теоретические основы метода 4](#_Toc416044041)

[Основные методы акустического неразрушающего контроля 5](#_Toc416044042)

[Используемая литература 17](#_Toc416044043)

# Введение

**Неразрушающий физический контроль** – это совокупность таких видов неразрушающего контроля, которые требуют применения специальных веществ, сложных приборов и достаточно наукоемких технологий. Из всех видов неразрушающего контроля, используемых на опасных производственных объектах, лишь один не относится к категории физических – это визуальный и измерительный контроль (ВИК). Таким образом, сочетание этих понятий можно выразить формулой:

**Неразрушающий контроль = Неразрушающий физический контроль + ВИК.**

По степени проникновения в материал все виды неразрушающего физического контроля условно подразделяют на две категории: поверхностные и объемные. Поверхностные виды (методы) неразрушающего контроля – это такие, которые позволяют обнаруживать только дефекты, имеющие выход на доступную для контроля поверхность материала объекта. Объемные виды (методы) неразрушающего контроля – это такие, которые дают возможность обнаруживать преимущественно внутренние дефекты материала, а поверхностные дефекты выявляются, только если они достаточно крупные.

В России классификация неразрушающих физических видов (методов) контроля приведена в стандарте ГОСТ 18353-79 «Контроль неразрушающий. Классификация видов и методов» [1].

На рис. 1 приведена логическая цепь полного технического диагностирования объекта, из которой видно, что неразрушающий контроль (кроме толщинометрии) является завершающей фазой процесса.

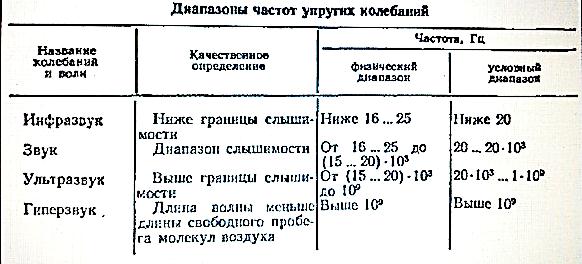


Рис. 1. Логическая цепь технического диагностирования объекта

## Теоретические основы метода

**Упругие колебания и волны.** Упругость – это свойство твердых тел восстанавливать свои форму и объем (а жидкостей и газов – только объем) после прекращения действия внешних сил. Среду, обладающую упругостью, называют упругой средой. Упругие колебания – это колебания механических систем, упругой среды или ее части, возникающие под действием механического возмущения. Упругие или акустические волны – механические возмущения, распространяющиеся в упругой среде. Частный случай акустических волн – слышимый человеком звук, отсюда происходит термин акустика (от греч. akustikos – слуховой) в широком смысле слова – учение об упругих волнах, в узком – учение о звуке. В зависимости от частоты упругие колебания и волны называют по-разному (Таблица 1.)

.Таблица 1.



Упругие колебания и акустические волны, особенно ультразвукового диапазона, широко применяют в технике. Для целей контроля применяют колебания частотой от 50 Гц до 50 МГц. Интенсивность колебаний при этом обычно невелика, не более 1 Вт/см2. Существуют разные типы акустических волн, отличающиеся скоростью распространения, направлением колебания частиц и другими признаками. Их называют модами (от лат. modus – образец, способ).

При неразрушающем контроле акустические волны возбуждают и принимают путем преобразования электрических колебаний в упругие и наоборот. Для этой цели используют специальные устройства – электроакустические преобразователи (ЭАП) или просто преобразователи. Если преобразователь предназначен для излучения волн, его называют излучателем, если для приема – то приемником. Если один и тот же преобразователь выполняет обе функции, то его и соответствующую схему контроля называют совмещенными. Если излучатель и приемник разделены, то схему контроля называют раздельной.

В большинстве преобразователей имеется чувствительный элемент, который совершает упругие колебания под действием электромагнитного поля. В качестве чувствительного элемента чаще всего используют пьезоэлектрическую пластину, колеблющуюся по толщине. Такие преобразователи называют пьезоэлектрическими. Для передачи колебаний от преобразователя с чувствительным элементом к объекту контроля (ОК) используют различные способы акустического контакта. Обычно промежуток между преобразователем и ОК заполняют жидкостью. Если толщина слоя жидкости меньше половины длины акустической волны, то говорят о контактном способе , а если больше нескольких - то об иммерсионном.

В отличие от этого в преобразователях бесконтактного типа возбуждают упругие колебания точек на поверхности (или вблизи поверхности) ОК под воздействием поля другой физической природы. Чаще всего для этого используют электромагнитное поле. Такие преобразователи называют электромагнитно-акустическими (ЭМА). Они позволяют возбудить упругие колебания твердого тела по требуемому закону, т.е. в требуемом направлении в каждом участке поверхности ОК, чтобы получить нужную моду. Работа приемников акустических волн основана на эффектах, обратных используемым для возбуждения.

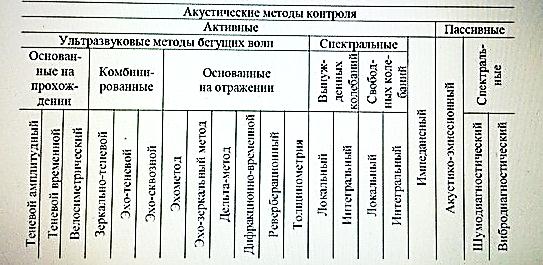
Для получения информации обо всем ОК преобразователь обычно перемещают по его поверхности. Этот процесс называют сканированием (от англ. scan – рассматривать, разглядывать). Поверхность ОК, через которую вводят акустические волны, называют поверхностью ввода.

### Основные методы акустического неразрушающего контроля

Методы акустического контроля (АК) делят на две большие группы : активные, использующие излучение и прием акустических колебаний и волн, и пассивные, основанные только на приеме колебаний и волн. В каждой группе выделяют методы, основанные на возникновении в объекте контроля бегущих и стоячих волн (или колебаний), объекта в целом или его части. Из всех видов неразрушающего контроля акустический – самый «богатый» по количеству методов. Классификация этих методов приведена в Таблице 2, их описание в Таблице 3.

Таблица 2.

**Методы акустического контроля**



**Пассивные методы** – методы контроля, при которых не требуется внесение в материал энергии данного вида (дефект сам проявляет себя ее излучением).

**Активные методы** – методы контроля, при которых в материал вносится энергия данного вида и о состоянии материала судят по явлениям, происходящим с этой энергией.

Таблица 3.

**Краткое описание методов акустического контроля**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Метод | | Схема контроля | Описание |
| **Пассивные методы** | | | |
| **Спектральные методы** | | | |
| Шумодиагностический  (вариант) | |  | На работающих однотипных агрегатах измеряют амплитудно-частотные характеристики шумов, которые сравнивают с таковыми для эталонного (заведомо бездефектного) агрегата. В случае кардинального отличия от характеристик эталона агрегат выводят из эксплуатации. |
| Вибродиагностический | |  | На работающих однотипных агрегатах измеряют характеристики активности вибрации, которые сравнивают с таковыми для эталонного (заведомо бездефектного) агрегата. В случае кардинального отличия от характеристик эталона агрегат выводят из эксплуатации. |
| **Акустико-эмиссионный** | | | |
| Вариант | |  | Объект контроля повергают механическому напряжению (например, в сосуде создают внутреннее давление). При этом развивающиеся трещины подрастают скачками. При каждом акте подрастания (скачке) от венца трещины в материал излучается импульс акустической энергии («щелчок», эмиссия). Такие импульсы улавливаются и анализируются специальной аппаратурой. |
| **Активные методы** | | | |
| **Импедансный метод** | | | |
| Вариант | |  | Прибор 1 возбуждает непрерывные акустические колебания в излучающей пьезопластине, помещенной вверху датчика 2. Принимающая пьезопластина расположена внизу датчика и разделена с излучающей стальным стержнем. Если слоистый ОК качественно склеен, то в контакте наконечника с поверхностью ОК он хорошо демпфирует (затормаживает) приемную пьезопластину, и большая доля звуковой энергии в ней вынуждена переходить в электрическую. Если под датчиком дефект 3 (непроклей), то в этой зоне импеданс ОК (сопротивление колебаниям) меньше, демпфирование слабее и амплитуда электросигнала на приемной пластине ниже. |
| **Спектральные методы свободных колебаний** | | | |
| Локальный | |  | Используют для контроля многослойных неметаллических и композитных материалов. Вибратором 2 к точке объекта контроля прилагают колебания, вырабатываемые генератором 1. Ответные колебания принимают микрофоном 3. Индикатор 4 покажет резкое изменение колебаний при расположении вибратора над дефектом 5. |
| Интегральный (вариант) | |  | Объект контроля (например, железнодорожное колесо) подвергают удару специальным молотком 1. Ответный звук принимают микрофоном 2 и при помощи специальной аппаратуры 3 анализируют его частотный спектр. По характеру спектра судят о наличии или отсутствии дефектов в ОК. |
| **Спектральные методы вынужденных колебаний** | | | |
| Локальный резонансный (резонансная толщинометрия) | |  | Толщиномер 1 посылает на преобразователь 2 колебания переменной частоты ƒ. Когда частота достигает такого значения, при котором длина волны в ОК λ=С/ƒ=2h, объект входит в активный резонанс. Это значение частоты (резонансное) фиксируется, и по нему прибор определяет толщину ОК h (С – скорость звука в ОК). |
| Интегральный резонансный | |  | Обширный участок поверхности ОК подвергают непрерывным колебаниям при помощи вибраторов 1 и покрывают алюминиевой пудрой 2. В зоне дефекта 3 вследствие резонанса колебания более активны, и поэтому оседание пудры меньше. |
| **Ультразвуковые методы бегущих волн** | | | |
| **Методы прохождения** | | | |
| Теневой амплитудный |  | | Импульсные или непрерывные ультразвуковые волны пропускают сквозь плоский ОК от излучателя (И) к приемнику (П). Если между И и П дефектов нет, то волны проходят беспрепятственно, и на приеме – сигнал большой амплитуды (вариант I). Малый дефект Д оттеняет часть потока, и амплитуда на приеме падает (вариант II). Крупный дефект полностью перекрывает поток, обнуляя сигнал на приеме (вариант III). Глубина залегания и размеры дефекта аппаратурно не оцениваются. Необходим двусторонний доступ к ОК. |
| Теневой временной |  | | Импульсы ультразвуковых волн пропускают сквозь плоский ОК от излучателя И к приемнику П. Если между И и П есть дефект Д средней величины, он  оттеняет часть потока, а отклоняющиеся боковые лучи падают на его край, где претерпевают дифракцию. Попадая в приемник несколько позже прямого потока 1, дифрагированные лучи 2 образуют отдельный слабый сигнал. По разности времени прихода сигналов  судят о размерах дефекта. Глубина залегания не определяется. Необходим  двусторонний доступ к ОК. |
| Велосиметрический (вариант) |  | | Точечные излучатель и приемник жестко скреплены. Излучатель возбуждает в плоском ОК изгибные волны Лэмба моды а0. Дистанция между осями И и П приблизительно равна длине волны. Поскольку фазовая скорость волн Лэмба зависит от толщины целого слоя, а дефект делит эту толщину, то в  дефектной зоне фазовая скорость понижается и фаза сигнала на приеме  сдвигается относительно фазы на излучении. Сдвиг фаз указывает на дефект. |
| **Методы отражения** | | | |
| Эхометод |  | | В совмещенном I или раздельном II режиме работы аппаратуры импульс ультразвуковых волн посылается в ОК.  Если на его пути встречается дефект, то импульс частично отражается от него и возвращается в преобразователь, образуя сигнал на приеме (эхосигнал).  В раздельном режиме изображение посылаемого (зондирующего) импульса  на экране отсутствует. |
| Эхо-зеркальный метод («тандем») |  | | Предназначен для оценки формы и размеров заведомо выявленного внутреннего дефекта в плоском объекте.  В раздельно-совмещенном режиме аппаратуры дефект облучается импульсами ультразвуковых волн. Если эхо в ИП лишь немного превышает эхо в П,  и оба сигнала средней амплитуды (вариант I), предполагают круглую форму дефекта. Если сигнал в ИП мощный, а  в П отсутствует (вариант II), предполагают плоскую форму и наклонную  ориентацию. Если не удается получить эхо обоими преобразователями (вариант III), предполагают горизонтальную плоскую форму. Если эхо в П выше,  чем в ИП (вариант IV), то дефект плоский вертикальный. Разводя и сближая ИП и П, по дистанции между ними в  позициях пропадания сигналов можно  оценить высоту дефекта. |
| Дельта-метод |  | | Применяется для оценки высоты заведомо выявленных внутренних дефектов. В раздельном режиме работы аппаратуры импульс ультразвуковых  волн посылается в ОК так, что облучается верхний край дефекта (позиции I).  По дифрагированному эхосигналу определяют глубину залегания верхнего края. Затем, раздвигая И и П, находят  позицию облучения нижнего края (II).  Разность показаний глубины есть высота дефекта. |
| Дифракционно-временной |  | | Применяется аналогично дельта-методу, но прием дифрагированных  сигналов от краев дефекта осуществляется прямым датчиком, установленным  над дефектом, в том числе с использованием отражения от противоположной поверхности ОК. |
| Реверберационный |  | | В совмещенном режиме работы аппаратуры импульс ультразвуковых волн посылается в слоистый (клееный) ОК.  Если склейка качественная (I), то основная часть импульса уходит через  клей, а малая доля отражается обратно.  На поверхности ОК часть этой доли идет в ИП, образуя первый пик, а часть вновь углубляется в ОК, и с ней происходит то же самое. Так как основная  доля всегда хорошо проходит вглубь  ОК, то реверберации в верхнем слое быстро ослабевают и на экране амплитуда пиков убывающая. Дефект (Д) типа «непроклей» препятствует уходу  сигнала (II), и в этом случае реверберации в первом слое мощные. |
| Толщинометрия |  | | Толщиномер измеряет время t пробега сигнала до противоположной поверхности ОК и обратно и определяет толщину ОК как h = 0,5C t, где С – известная скорость звука в данном материале. |
| Комбинированные методы | | | |
| Эхо-теневой |  | | В раздельно-совмещенном режиме аппаратуры импульсы ультразвуковых  волн посылают в ОК. Если на тракте есть дефект, то импульс частично отражается от него в совмещенный преобразователь (ИП) как эхосигнал. Отдельным приемником (П) оценивают  падение амплитуды сквозного сигнала,  вызванное дефектом. Обладает качествами эхометода + подтверждение дефекта теневым принципом, но требует  двустороннего доступа к ОК. |
| Зеркально-теневой |  | | В совмещенном (прямой ИП) или раздельном (наклонные И и П) режиме  аппаратуры импульсы ультразвуковых волн посылают в ОК. Если на тракте есть дефект, то он преграждает путь,  вызывая падение донного сигнала. По падению донного сигнала судят о наличии и величине дефекта. Необходим  односторонний доступ к ОК, при наклонном – выявление дефектов любой формы и ориентации. Не дает глубину залегания дефекта. |
| Эхо-сквозной |  | | Применяется только в металлургической промышленности на выходе линий проката листов. В иммерсионной  ванне (контактная жидкость – веретенное масло) лист на вальцах прокатывается между рядами (матрицами) из совмещенных (ИП) и дополнительных  приемных (П) преобразователей. При  нормальном состоянии листа (вариант I)  наблюдается строго упорядоченное  расположение эха от границы верхнего  слоя жидкости и ОК (1), от границы ОК и нижнего слоя жидкости (2) и сквозного сигнала (3). Варианты II–IV  показывают смещение сигналов при попадании в область контроля локальных утонений. Если в области контроля оказывается расслоение или закат  (вариант V), то между 1-м и 2-м сигналами появляется мощное эхо от него  (4), а сигналы 2 и 3 ослабевают вплоть  до обнуления. Ряды ИП и П выстраиваются по всей ширине листа. Метод  требует специальной многоканальной  аппаратуры и применяется только в автоматическом режиме. |

*Спектральные методы* (среди пассивных – шумодиагностический и вибродиагностический; среди активных – методы свободных и вынужденных колебаний) основаны на анализе параметров непрерывных не перемещающихся по объекту колебаний.

*Методы бегущих волн* основаны на анализе параметров непрерывных (теневой амплитудный) или импульсных (прочие) перемещающихся по объекту колебаний (волн).

*Шумодиагностический метод* применяется не только на динамически работающих агрегатах, но и в целях течеискания на трубопроводах, сосудах и резервуарах. Течи обнаруживаются по шуму, создаваемому трением истекающей через дефект среды о его края.

*Вибродиагностический метод* используется как обязательный при диагностике компрессоров газопроводных систем в металлургическом производстве.

*Акустико- эмиссионный (АЭ) метод* обеспечивает выявление развивающихся дефектов посредством регистрации и анализа акустических волн, возникающих в процессе пластической деформации и роста трещин в контролируемых объектах. Кроме того, метод АЭ позволяет выявить истечение рабочего тела (жидкости или газа) через сквозные отверстия в контролируемом объекте. Указанные свойства метода АЭ дают возможность формировать адекватную систему классификации дефектов и критерии оценки технического состояния объекта, основанные на реальном влиянии дефекта на объект.

Характерными особенностями метода АЭ, определяющими его возможности, параметры и области применения, являются следующие:

1. Метод АЭ обеспечивает обнаружение и регистрацию только развивающихся дефектов, что позволяет классифицировать дефекты не по размерам, а по степени их опасности.
2. В производственных условиях метод АЭ позволяет выявить приращение трещины на десятые доли миллиметра. Предельная чувствительность акустико-эмиссионной аппаратуры по расчетным оценкам составляет порядка 1∙10-6 мм2, что соответствует выявлению скачка трещины протяженностью 1мкм на величину 1 мкм, что указывает на весьма высокую чувствительность к растущим дефектам.
3. Свойство интегральности метода АЭ обеспечивает контроль всего объекта с использованием одного или нескольких датчиков АЭ, неподвижно установленных на поверхности объекта.
4. Метод АЭ позволяет проводить контроль различных технологических процессов и процессов изменения свойств и состояния материалов.
5. Положение и ориентация дефекта не влияют на его выявляемость.

Метод АЭ может быть использован для контроля объектов при их изготовлении – в процессе приемочных испытаний, при периодических технических освидетельствованиях, в процессе эксплуатации.

Целью АЭ-контроля является обнаружение, определение координат и слежение (мониторинг) за источниками акустической эмиссии, связанными с несплошностями на поверхности или в объеме стенки сосуда, сварного соединения и изготовленных частей и компонентов. АЭ-метод может быть использован также для оценки скорости развития дефекта в целях заблаговременного прекращения испытаний и предотвращения разрушения изделия. Регистрация АЭ позволяет определить образование свищей, сквозных трещин, протечек в уплотнениях, заглушках, арматуре и фланцевых соединениях.

*Импедансный метод* (от англ. impedance – сопротивление) широко применяется в аэрокосмической промышленности. Только этот метод позволяет достоверно оценить качество спайки сверхлегких сотовых панелей, применяемых в конструкциях элементов крыльев самолетов и корпусов спутников.

*Локальный метод* свободных колебаний используют в военной промышленности для проверки качества присоединения звукопоглощающих покрытий на корпусах подводных лодок.

Применение интегрального метода свободных колебаний пассажиры железнодорожных поездов могут наблюдать во время стоянки на крупных станциях.

Резонансные методы вынужденных колебаний в настоящее время практически не используются, так как задачи дефектоскопии и толщинометрии более точно решают импульсные ультразвуковые методы.

*Теневой амплитудный метод* – самый первый в истории возникновения ультразвуковой дефектоскопии (был открыт в 1928 г.в России инженером С. Я. Соколовым). Используется только при контроле крупных отливок и поковок. Достоинствами метода являются то, что он может быть реализован в простом непрерывном режиме излучения ультразвука, и то, что волны проходят толщину объекта лишь в одну сторону (это снижает потери их амплитуды от затухания на крупном зерне материала объекта).

Недостатки теневого амплитудного метода:

* Требует двустороннего доступа к объекту с соосным расположением излучателя и приемника;
* Не позволяет определять глубину залегания дефектов;

*Теневой временной метод* является продуктом совершенствования теневого амплитудного метода с применением импульсного режима. Он позволяет не только выявить внутренний дефект в поковке или отливке, но и оценить его размеры.

*Велосиметрический метод* (от англ. velocity- скорость и греч. «метрико» - измеряю), кроме показанного варианта, в ином виде применяется для оценки качества (определения марки) бетона. Объект из бетона известной толщины подвергают прозвучиванию по принципу теневого метода, измеряя в нем скорость звука. Для бетона характерна ярко выраженная прямая зависимость скорости звука от его качества (дисперсности). Поэтому метод нашел применение в строительстве.

Ни один из других ультразвуковых методов контроля в настоящее время не может сравниться по популярности с *эхометодом*. Информативность, мобильность, безопасность, портативность, экономичность и автономность электропитания, достаточность одностороннего доступа к объекту, а главное – более высокая достоверность контроля – вот те качества, в которых этот метод значительно выигрывает перед рентгеном. Если рентгену в самом мощном (рентгеноскопическом) варианте доступны для контроля стальные объекты не толще 80 мм, то для ультразвукового эхометода этот размер может измеряться метрами. Эхометод позволяет не только выявлять внутренние дефекты, но и оценивать их величину, отличать плоскостные дефекты от объемных, определять глубину залегания.

Единственный показатель, в котором радиационные методы имеют приоритет перед ультразвуковым эхометодом - иллюстративность результатов контроля. Но и эта проблема в акустике сегодня решается с использованием приборов, изображенных на рис. 2. Например, на рисунке 2,в приведена фотография современного ультразвукового дефектоскопа Х-32, построенного на так называемых фазированных акустических решетках (ФАР) и показывающего приблизительные образы выявляемых дефектов. Применение эхометода регламентируется стандартами [2,3,4,5,6,7].

а б



в

Рис. 2. Примеры ультразвуковых дефектоскопов: а – цифроаналоговый ультразвуковой дефектоскоп «EPOCH LT»; б – выявление подобным дефектоскопом модели дефекта в стальном образце; в – ФАР-дефектоскоп «Х-32»

В настоящее время трудно найти такую отрасль промышленности, где бы не применялся ультразвуковой эхометод в целях оценки качества сварных соединений, металлических и неметаллических деталей и элементов.

*Эхо-зеркальный метод* ранее при контроле сварных соединений котлоагрегатов применялся как обязательный для оценки формы и размеров дефектов, заведомо выявленных эхометодом, но из-за отрицательного влияния габаритов датчиков он мог быть использован только на объектах толщиной более 40 мм. Сейчас такие задачи успешно решаются с помощью дифракционно-временного и дельта-метода.

*Реверберационный метод* применяется для проверки качества межметаллической адгезии в биметаллах, например, при диагностике состояния плакирующих наплавок на внутренней поверхности варочных котлов бумагоделательного производства.

*Ультразвуковая толщинометрия* (импульсным эхометодом) – неотъемлемая процедура при диагностировании сосудов, трубопроводов, резервуаров, а также в судостроительном и судоремонтном производстве. На объектах Ростехнадзора в большинстве случаев удовлетворяет точность измерения 0,1 мм, но некоторый современные толщиномеры позволяют измерять толщины от 1 до 50 мм с точностью 0,001 мм (рис. 3).



Рис. 3. Измерение толщины стенки трубы ультразвуковым толщиномером

*Эхо-теневой метод* применяется как вспомогательный при лабораторном контроле небольших, но ответственных деталей. Для него необходим специальный дефектоскоп с дополнительным приемным каналом.

*Зеркально-теневой метод* используется как дополнительный (подтверждающий результаты эхометода) при контроле толстых сварных соединений котлоагрегатов и трубопроводов в электроэнергетике.

*Эхо-сквозной метод*, в частности, реализован российско-германской компанией «Нординкрафт» в виде стационарной установки для контроля листового проката на Череповецком металлургическом комбинате (рис.4).



Рис. 4. Установка «Нординкрафт» для автоматического контроля эхо-сквозным методом листового проката на Череповецком металлургическом комбинате

Система автоматического контроля предполагает полное отсутствие оператора контроля на этапе расшифровки данных датчика, что существенно повышает точность и достоверность контроля.

# Используемая литература

1. ГОСТ 18353-79. Контроль неразрушающий. Классификация видов и методов. М.,1979.
2. ГОСТ 20415-82. Контроль неразрушающий. Методы акустические. Общие положения. М., 1982.
3. ГОСТ 14782-86. Контроль неразрушающий. Соединения сварные. Методы ультразвуковые. М., 1986.
4. ГОСТ 24507-80. Контроль неразрушающий. Поковки из черных и цветных металлов. Методы ультразвуковой дефектоскопии. М., 1980.
5. ГОСТ 22727-88. Контроль неразрушающий. Прокат листовой. Методы ультразвукового контроля. М., 1988.
6. ГОСТ 12503-75. Сталь. Методы ультразвукового контроля. Общие требования. М., 1975.
7. ГОСТ 17410-78. Контроль неразрушающий. Трубы металлические бесшовные цилиндрические. Методы ультразвуковой дефектоскопии. М.,1978.
8. Неразрушающий контроль : справ. : в 8 т. / под общ. ред. В. В. Клюева.2-е изд., испр. М. : Машиностроение, 2008.
9. Неразрушающий контроль. В 5 кн. Кн. 2. Акустические методы контроля: Практ. Пособие/И. Н. Ермолов, Н. П. Алешин, А. И. Потапов; Под ред. В. В. Сухорукова. – М.: Высш. шк., 1991. – 283 с.:ил.