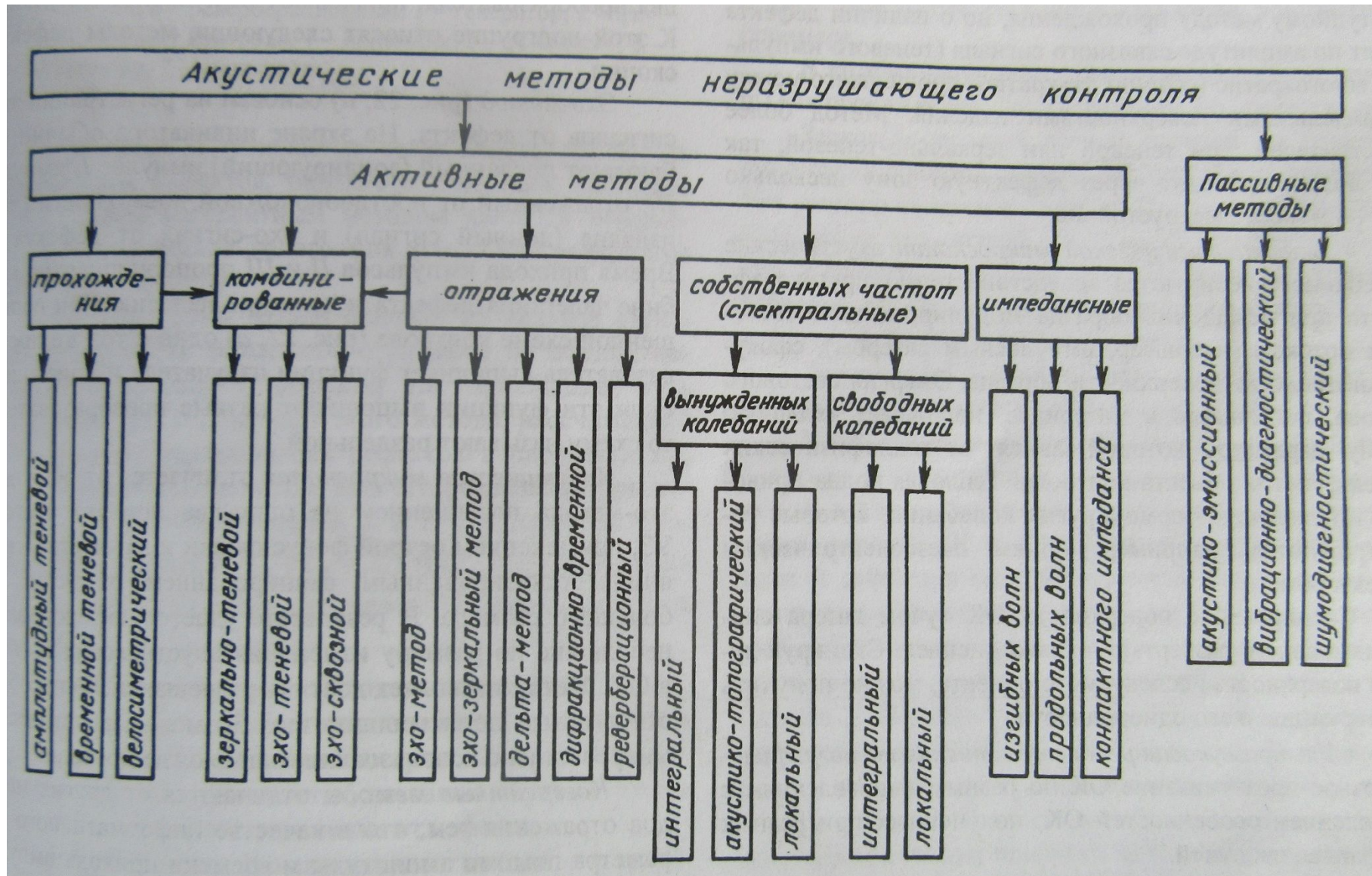


Акустические методы диагностики и контроля

Акустические методы диагностики и контроля делят на две большие группы: **активные** и **пассивные**.

Активные методы основаны на излучении и приеме упругих волн, **пассивные** – только на приеме волн, источником которых служит сам контролируемый объект.



Методы прохождения

К методам прохождения относят:

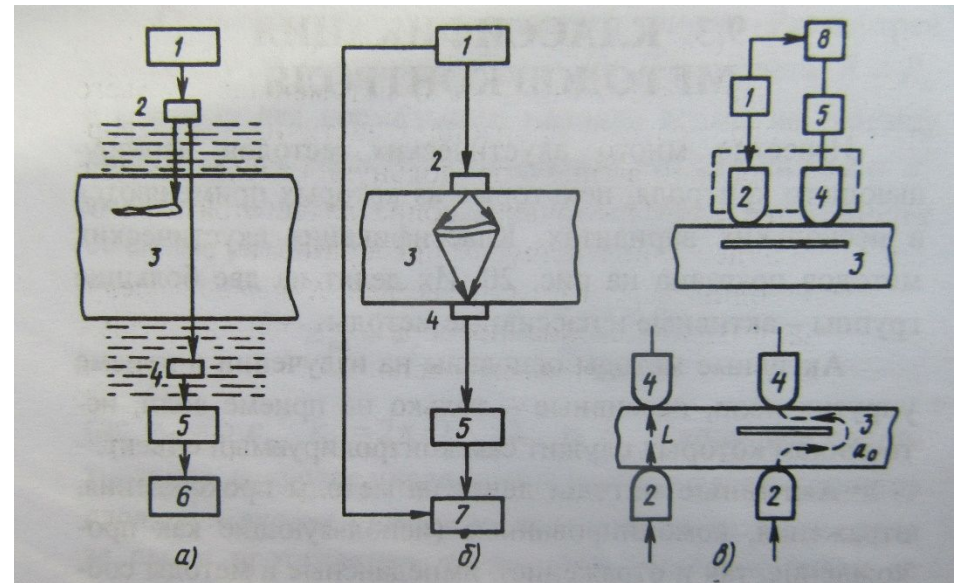
- **амплитудный теневой метод**, основанный на регистрации уменьшения амплитуды волны, прошедшей через контролируемый объект, вследствие наличия в нем дефекта;
- **временной теневой метод**, базирующийся на регистрации запаздывания импульса, вызванного увеличением его пути в изделии при огибании дефекта;
- **велосиметрический метод**, основанный на регистрации изменения скорости распространения дисперсионных мод упругих волн в зоне дефекта и применяемый при одностороннем и двустороннем доступе к контролируемому объекту.

Дисперсия (рассеяние) волн — в физике зависимость фазовой скорости волны от её частоты

Мода упругой волны — тип упругой волны, определяемый характером колебаний частиц среды.

Упругие волны — процесс распространения в упругой среде механических деформаций

Методы прохождения используют излучающие и приемные преобразователи, расположенные по разные или по одну сторону от контролируемого изделия. Применяют импульсное или (реже) непрерывное излучение и анализируют сигнал, прошедший через контролируемый объект.



а – теневой; **б** – временной теневой; **в** - велосиметрический

1 – генератор; 2 – излучатель; 3 – объект контроля;
4 – приемник; 5 – усилитель; 6 – измеритель амплитуды;
7 – измеритель времени пробега; 8 – измеритель фазы

Методы отражения

В методах отражения используют как один, так и два преобразователя; применяют импульсное излучение.

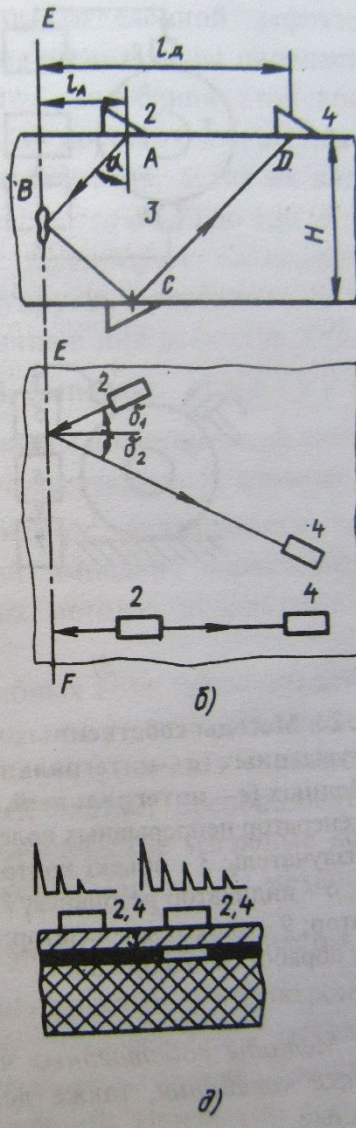
Эхо-метод основан на регистрации эхо-сигналов от дефекта. На экране индикатора обычно наблюдают три импульса: посланный (зондирующий), отраженный от противоположной поверхности и эхо-сигнал от дефекта. Время прихода второго и третьего импульса пропорционально толщине изделия и глубине залегания дефекта.

Эхо-зеркальный метод основан на анализе сигналов, испытавших зеркальное отражение от донной поверхности изделия и дефекта, т.е. прошедших путь $ABCD$ (рис. б).

Дельта-метод основан на приеме преобразователем для продольных волн 4 (рис. в), расположенным над дефектом, рассеянных на дефекте волн, излученных преобразователем для поперечных волн 2.

Дифракционно-временной метод, в котором излучатели 2 и 2' (рис. г), приемники 4 и 4' излучают и принимают либо продольные, либо поперечные волны, основан на получении максимальных эхо-сигналов волн, дифрагированных на концах дефекта.

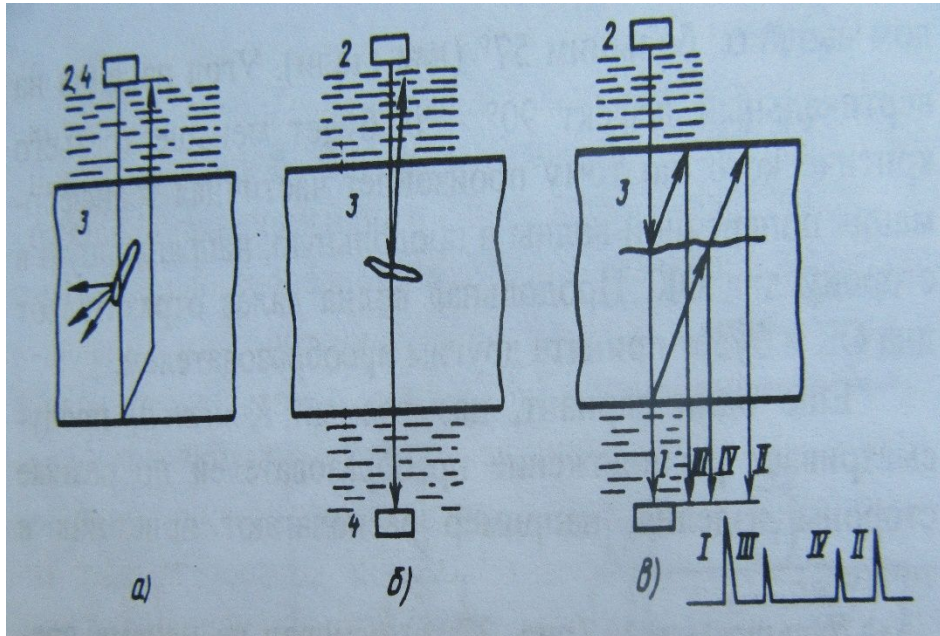
Реверберационный метод использует влияние дефекта на время затухания многократно отраженных ультразвуковых импульсов в контролируемом объекте.



а – эхо; б – эхо-зеркальный; в – дельта-метод; г – дифракционно-временной; д – реверберационный, 1 – генератор; 2 – излучатель; 3 – объект контроля; 4 – приемник; 5 – усилитель; 6 – синхронизатор; 7 – индикатор

Комбинированные методы

В комбинированных методах используют принципы как прохождения, так и отражения акустических волн.



a – зеркально-теневогой; *б* – эхо-теневогой; *в* – эхо-сквозногой;
2 – излучатель; 4 – приемник; 3 – объект контроля

Зеркально-теневогой метод основан на измерении амплитуды донного сигнала. По технике выполнения его относят к методам отражения, а по физической сущности контроля он близок к теневогой методу.

Эхо-теневогой метод основан на анализе как прошедших, так и отраженных волн.

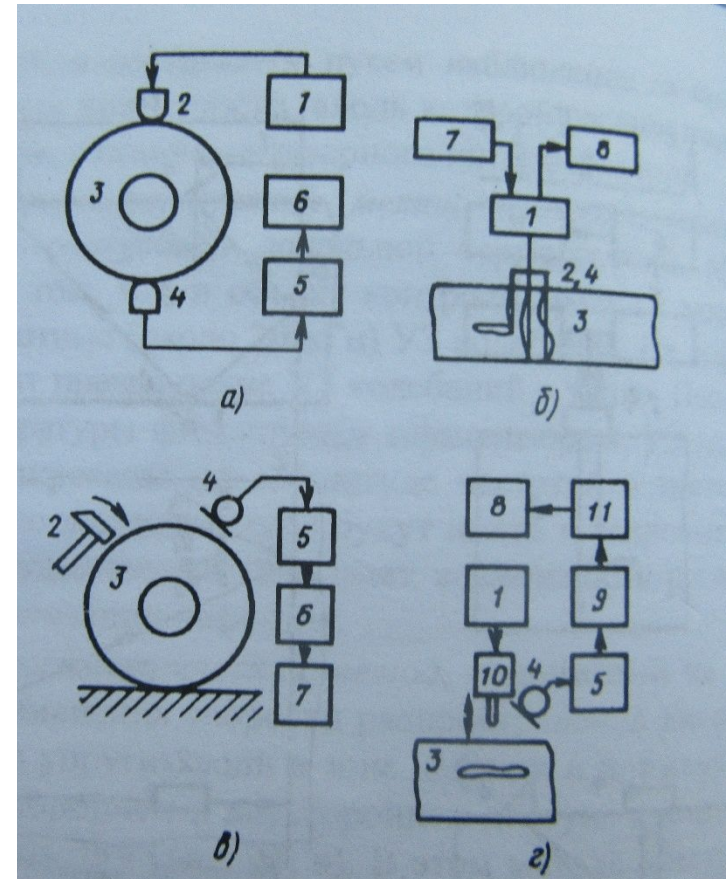
В эхо-сквозногой методе фиксируют сквозногой сигнал *I*, сигнал *II*, испытавший двукратногой отражение в изделии, а в случае появления полупрозрачного дефекта – также сигналы *III* и *IV*, соответствующие отражениям волн от дефекта и испытавших также отражение от верхней и нижней поверхностей изделия. Большой непрозрачногой дефект обнаруживают по исчезновению или сильному уменьшению сигнала *I*, т.е. теневогой методом, а также сигнала *II*. Полупрозрачные или небольшие дефекты обнаруживают по появлению сигналов *III* и *IV*, которые являются главными информационными сигналами.

Методы собственных частот

Методы собственных частот основаны на измерении этих частот (или спектров) колебаний контролируемых объектов. Собственные частоты измеряют при возбуждении в изделиях как вынужденных, так и свободных колебаний. Свободные колебания обычно возбуждают механическим ударом, вынужденные – воздействием гармонической силы меняющейся частоты.

Различают интегральные и локальные методы. В интегральных методах анализируют собственные частоты изделия, колеблющегося как единое целое, в локальных – колебания отдельных его участков.

Акустико-топографический метод имеет признаки интегрального и локального методов. Он основан на возбуждении в изделии интенсивных изгибных колебаний непрерывно меняющейся частоты и регистрации распределения амплитуд колебаний с помощью наносимого на поверхность порошка. Упругие колебания возбуждают преобразователем, прижимаемым к сухому изделию. Преобразователь питают от мощного (порядка 0,4 кВт) генератора непрерывно меняющейся частоты.

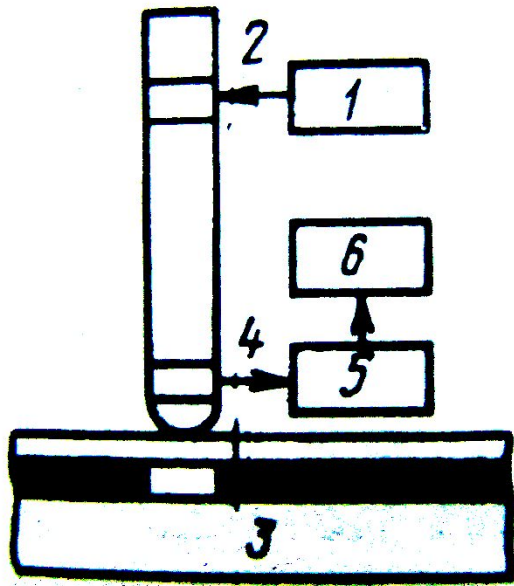


Методы колебаний:

вынужденных (а – интегральный, б – локальный); свободных (в – интегральный, г – локальный):

1 – генератор непрерывных колебаний меняющейся частоты; 2 – излучатель; 3 – объект контроля; 4 – приемник; 5 – усилитель; 6 – индикатор резонанса; 7 – модулятор частоты; 8 – индикатор; 9 – спектроанализатор; 10 – ударный вибратор; 11 – блок обработки информации

Импедансные методы



- 1 – генератор,
- 2 – излучатель,
- 3 – объект контроля,
- 4 – приемник,
- 5 – усилитель,
- 6 – блок обработки информации с индикатором.

Импедансные методы используют зависимость импедансов изделий при их упругих колебаниях от параметров этих изделий и наличия в них дефектов. Обычно оценивают механический импеданс $Z = \dot{F} / \dot{v}$, где \dot{F} и \dot{v} – комплексные амплитуды возмущающей силы и колебательной скорости соответственно. В отличие от характеристического импеданса ρc , являющегося параметром среды, механический импеданс характеризует конструкцию. В импедансных методах используют изгибные и продольные волны.

Метод контактного импеданса, применяемый для контроля твердости, основан на оценке механического импеданса зоны контакта алмазного индентора стержневого преобразователя, прижимаемого к контролируемому объекту с постоянной силой. Уменьшение твердости увеличивает площадь контактной зоны, вызывая рост ее упругого механического импеданса, что отмечается по увеличению собственной частоты продольного колеблющегося преобразователя, однозначно связанной с измеряемой твердостью.

Пассивные акустические методы

Пассивные акустические методы основаны на анализе упругих колебаний волн, возникающих в самом контролируемом объекте.

Наиболее характерным пассивным методом является **акустико-эмиссионный метод** (см. рис.). Явление акустической эмиссии состоит в том, что упругие волны излучаются самим материалом в результате внутренней динамической локальной перестройки его структуры.

1 – генератор, 2 – излучатель, 3 – объект контроля, 4 – приемник, 5 – усилитель, 6 – блок обработки информации с индикатором.

Пассивными акустическими методами являются *вибрационно-диагностический* и *шумодиагностический*. При первом анализируют параметры вибраций какой-либо отдельной детали или узла (ротора, подшипников, лопатки турбины) с помощью приемников контактного типа, при втором изучают спектр шумов работающего механизма, обычно с помощью микрофонных приемников.

По частотному признаку акустические методы делят на низкочастотные и высокочастотные. К первым относят колебания в звуковом и низкочастотном (до нескольких десятков кГц) ультразвуковом диапазоне частот, ко вторым – колебания в высокочастотном ультразвуковом диапазоне частот: обычно от нескольких сотен кГц до 20 МГц. Высокочастотные методы обычно называют *ультразвуковыми*.

Такие явления, как возникновение и развитие трещин под влиянием внешней нагрузки, аллотропические превращения при нагреве или охлаждении, движение скоплений дислокаций, – наиболее характерные источники акустической эмиссии. Контактирующие с изделием пьезопреобразователи принимают упругие волны и позволяют установить место их источника (дефекта).

Акустическая эмиссия (выпуск) — явление возникновения и распространения упругих колебаний (акустических волн) в различных процессах, например, при деформации напряжённого материала

Аллотропия — это способность химических элементов находиться в виде двух и более простых веществ. Она связана с различным числом атомов в молекуле или со строением кристаллической решетки

Методы акустико-эмиссионной диагностики

Акустическая эмиссия (АЭ) как физическое явление, используемое для исследования веществ, материалов, объектов, а также для их неразрушающего контроля и технической диагностики (ТД и НК), представляет собой излучение акустических волн из объекта при протекании различных нелинейных процессов: при перестройке структуры твердого тела, возникновении турбулентности, трении, ударах и т.д.

Физической основой метода АЭ является акустическое излучение при пластической деформации твердых сред, развитии дефектов, трении, прохождении жидких и газообразных сред через узкие отверстия – сквозные дефекты. Эти процессы неизбежно порождают волны, регистрируя которые, можно судить о протекании процессов и их параметрах. Метод АЭ обладает рядом достоинств, благодаря которым расширяются возможности технической диагностики и неразрушающего контроля.

АЭ контроль объектов проводится только при создании или существовании в конструкции напряженного состояния, инициирующего в материале объекта работу источников АЭ. Для этого объект подвергается нагрузке силой, давлением, температурным полем и т.д. Выбор вида нагрузки определяется конструкцией объекта и условиями его работы, характером испытаний.

Традиционные методы НК используют, как правило, пространственно-ограниченные физические поля, возбуждаемые в изделии инструментом контроля. В отличие от известных методов, являющихся в этом смысле активными, метод АЭ является пассивным методом НК, т.е. источником регистрируемого физического поля является сам дефект. Причем природа этого поля и его параметры обеспечивают получение такой информации, которую невозможно получить, применяя другие методы НК.

Виды акустической эмиссии

Акустическая эмиссия – испускание объектом контроля (испытаний) акустических волн (ГОСТ 27655–88). Данное определение охватывает широкий круг явлений. Принято разделять явление АЭ в зависимости от физического источника на следующие виды.

1. **Акустическая эмиссия материала** – акустическая эмиссия, вызванная локальной динамической перестройкой структуры материала.

2. **Акустическая эмиссия утечки** – акустическая эмиссия, вызванная гидродинамическими и (или) аэродинамическими явлениями при протекании жидкости или газа через сквозную несплошность объекта испытаний.

3. **Акустическая эмиссия трения** – акустическая эмиссия, вызванная трением поверхностей твердых тел.

4. **Акустическая эмиссия при фазовых превращениях** – акустическая эмиссия, связанная с фазовыми превращениями в веществах и материалах.

5. **Магнитная акустическая эмиссия** – акустическая эмиссия, связанная с излучением звуковых волн при перемагничивании материалов.

6. **Акустическая эмиссия радиационного взаимодействия** – акустическая эмиссия, возникающая в результате нелинейного взаимодействия излучения с веществами и материалами.

7. **Акустическая эмиссия при химических и электрохимических реакциях** – акустическая эмиссия, возникающая в результате протекания химических и электрохимических реакций, включая разнообразные коррозионные процессы.

Из перечисленных видов АЭ наибольшее применение для контроля промышленных объектов нашли первые три вида.

Акустическая эмиссия при пластической деформации

Основными источниками акустической эмиссии для целей диагностики и НК технического состояния промышленных объектов являются пластическая деформация и рост трещин. В практике АЭ диагностирования встречаются случаи регистрации сигнала, возникающего в результате протечки рабочего тела через отверстия в объекте (АЭ утечки). В некоторых случаях информацию о состоянии объекта контроля несет АЭ от фазовых превращений, которая регистрируется, например, в случае контроля процессов сварки и термообработки. Практическое значение имеет акустическая регистрация процесса и результатов коррозии.

Для создания методик АЭ контроля объектов необходимо установить связь параметров сигналов АЭ с механическими свойствами материалов и параметрами механики разрушения (для теоретических моделей) и связь параметров сигналов АЭ с параметрами развивающихся дефектов (в экспериментальных исследованиях).

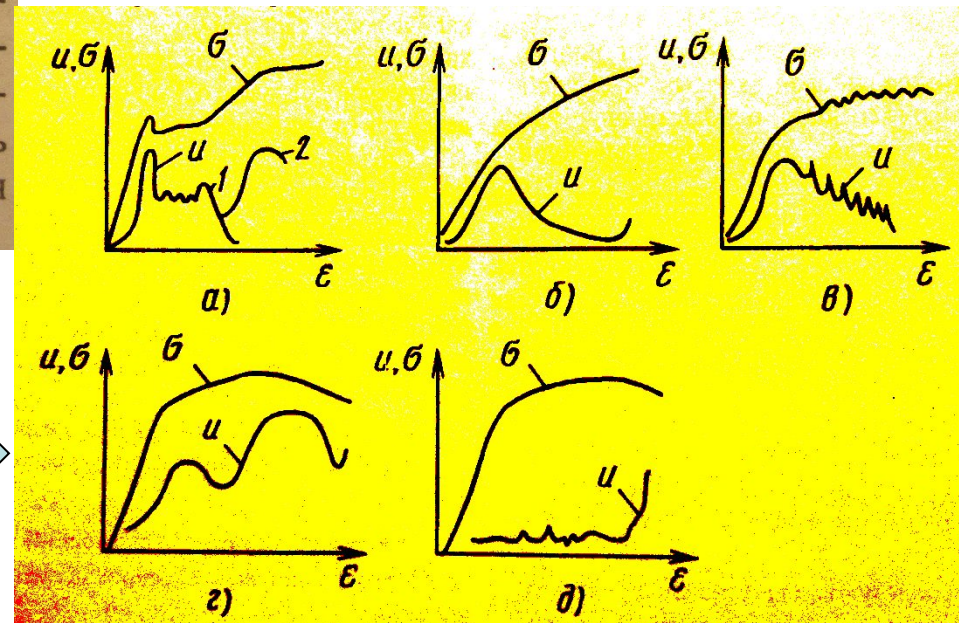
ϵ – деформация образца

σ – механическое напряжение

Связь параметров АЭ с механическими свойствами материалов устанавливаются при испытании стандартных образцов на растяжение.

Для большинства металлов максимум активности, скорости счета и эффективного значения АЭ совпадает с пределом текучести, что позволяет измерять предел текучести по параметрам АЭ. Погрешность измерения предела текучести по максимуму скорости счета (активности) АЭ составляет $\pm 0,5\%$ для материалов, имеющих явно выраженную площадку текучести, и $\pm 2 \dots 5\%$ для материалов без площадки текучести.

Обобщенные зависимости эффективного значения АЭ (u) при растяжении образцов из разных металлов



Факторы, влияющие на параметры акустической эмиссии

Факторы, повышающие амплитуду АЭ	Факторы, понижающие амплитуду АЭ
Высокая прочность	Низкая прочность
Высокая скорость деформации	Низкая скорость деформации
Анизотропия	Изотропность
Неоднородность	Однородность
Увеличение толщины материала	Уменьшение толщины материала
Двойникование	—
Разрушение отрывом	Разрушение сдвигом
Низкие температуры	Высокие температуры
Дефекты в материале	Отсутствие дефектов
Мартенситные фазовые превращения	Фазовые превращения диффузионного типа
Распространение трещины	Пластическая деформация скольжением
Литая структура	Кованая структура
Крупное зерно	Мелкое зерно

Классификация источников акустической эмиссии

Класс источника АЭ, наименование источника	Меры, предпринимаемые при регистрации источников АЭ
I класс, пассивный	Регистрируют для анализа динамики его последующего развития
II класс, активный	<ol style="list-style-type: none"> 1) Регистрируют и следят за развитием ситуации в процессе выполнения данного контроля 2) Отмечают в отчете и записывают рекомендации по проведению дополнительного контроля с использованием других методов

Выбор системы классификации источников АЭ и допустимого класса источников рекомендуется осуществлять каждый раз при АЭ контроле конкретного объекта.

Допустимость того или иного класса источников АЭ основывается на типе предельного состояния, который может иметь место для данного объекта. Сам тип предельного состояния определяется проектировщиком оборудования и наступает при определенных условиях воздействия на объект. Разработчик методики АЭ контроля должен получить или иметь набор параметров АЭ, соответствующих заданному предельному состоянию объекта. Критерием предельного состояния, как правило, является неравенство, которое удовлетворяется при некотором сочетании параметров АЭ и параметров нагрузки. Указанные факторы определяют *критерии бракования*.

Класс источника АЭ, наименование источника	Меры, предпринимаемые при регистрации источников АЭ
III класс, критически активный	<ol style="list-style-type: none"> 1) Регистрируют и следят за развитием ситуации в процессе выполнения данного контроля 2) Отмечают в отчете и записывают рекомендации по проведению дополнительного контроля с использованием других методов 3) Предпринимают меры по подготовке возможного сброса нагрузки
IV класс, катастрофически активный	<ol style="list-style-type: none"> 1) Производят немедленное уменьшение нагрузки до 0 либо величины, при которой класс источника АЭ снизится до II или I класса 2) После сброса нагрузки до 0 проводят осмотр объекта и при необходимости контроль другими методами