Правительство Российской Федерации

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение

высшего профессионального образования

«Национальный исследовательский университет   
«Высшая школа экономики»

**Московский институт электроники и математики Национального**

**исследовательского университета "Высшая школа экономики"**

###### Факультет электроники и телекоммуникаций

###### Кафедра радиоэлектроники и телекоммуникаций

###### ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА

(дипломная работа или дипломный проект)

На тему «Лазерная установка возбуждения упругих ультразвуковых волн»

Студент группы № ЭП-101

Ильин Дмитрий Глебович

Руководитель ВКР

Д.т.н., профессор   
Мозговой Юрий Дмитриевич

Консультант

Руководитель подразделения  
Лазаренко Евгений Русланович

Москва, 2013

**Правительство Российской Федерации**

**Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего профессионального образования   
"Национальный исследовательский университет   
"Высшая школа экономики"**

Московский институт электроники и математики Национального

исследовательского университета "Высшая школа экономики"

Факультет электроники и телекоммуникаций

Кафедра радиоэлектроники и телекоммуникаций

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой

\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ / С.У. Увайсов /

«\_\_\_» \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ 2013 г.

**ЗАДАНИЕ**

**НА ВЫПУСКНУЮ КВАЛИФИКАЦИОННУЮ РАБОТУ (ВКР)**

студенту 5 курса группы ЭП-91 Ильину Дмитрию Глебовичу

1 .Тема : «Лазерная установка для возбуждения упругих ультразвуковых волн»

(Утверждена приказом от \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ № \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_)

1. Срок сдачи ВКР руководителю: 27.05.2013

Срок сдачи ВКР на выпускающую кафедру: 10.06.2013

3. Техническое задание: Моделирование установки для возбуждения ультразвука. Конструирование установки для управления входными параметрами. Теоретическое определение входных параметров. Экспериментальная проверка параметров на установке.

4. Содержание расчетно-пояснительной записки.

A. Специальная часть.

1. Общая характеристика методов неразрушающего контроля

2. Основные положения теории акустической эмиссии

3. Теоретические основы возбуждения ультразвука лазером

4. Определение входных и выходных параметров

5. Сравнение теоретических и полученных данных

Б. Конструкторско-технологическая часть.

1. Составление блок-схемы лазерной установки, конструктивно – технологические особенности установки.

B. Охрана труда.

1. Анализ опасных и вредных производственных факторов в экспериментальной лаборатории.

2. Обеспечение защиты от опасных и вредных производственных факторов.

Г. Экологическая часть.

1. Экологические аспекты работы установки, влияющие на окружающую среду

Д. Решение задач на ЭВМ

1. Анализ полученных выходных данных

2. Сопоставление теоретических и полученных параметров

5. Перечень графического материала.

1. Блок-схема лазерной установки, конструктивно – технологические особенности установки.

2. Сравнение теоретических и полученных данных

6. Консультанты по ВКР.

Консультант по специальной части\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ /Е.Р. Лазаренко

Консультант по конструкторско-технологической части\_\_\_\_\_\_ / Е.Р. Лазаренко

Консультант по экологической части??\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ /

Консультант по охране труда\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ /

7. Дата выдачи задания «\_\_\_» \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ 2013 г.

Руководитель ВКР \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ /Ю.Д. Мозговой/

Задание принято к исполнению \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ /Д.Г. Ильин/

«\_\_\_» \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ 2013 г.

**Оглавление**

**Введение** 6

**Глава 1. Теория неразрушающего контроля** 5

1.1. Общая характеристика методов и средств неразрушающего контроля 8

1.2. Классификация методов неразрушающего контроля 9

1.3. Виды акустической эмиссии 11

1.4. Основные положения акустико–эмиссионного контроля 13

1.5. Ультразвуковая дефектоскопия 14

1.6. Особенности метода 15

1.7. Достоинства и недостатки метода акустической эмиссии 17

1.8. Общие выводы по Акустическим методам неразрушающего контроля 19

**Глава 2. Ультразвуковые дефектоскопы** 20

2.1. Классификация ультразвуковых дефектоскопов 20

2.2. Приемно-усилительный тракт дефектоскопа. 24

2.3. Виды разверток (сканов) 28

2.4. Особенности аналоговых дефектоскопов 30

**Глава 3. Конструктивно – технологическая часть** 35

3.1. Лазерно-ультразвуковой метод 35

3.2 оптико-акустические методы исследования биообъектов 39

3.3. Основные понятия акустико-эмиссионных систем 40

3.4. Принцип работы акустико-эмиссионной системы 41

3.5. Применение акустико-эмиссионных систем 43

**Глава 4. Экономическая часть**  44

5.1. Оценка экономической эффективности 44

5.2. Расчет экономической эффективности 45

**Глава 5. Охрана труда** 47

5.1. Основные источники опасности при поверке АЭ-системы 47

5.2. Требования предъявляемые при поверке АЭ-системы 47

5.3. Требования предъявляемые к рабочему месту поверителя 48

5.4. Требования к пожаробезопасности на рабочих местах 49

5.5. Расчёт зануления 50

5.6. Расчётная проверка зануления 52

**Глава 6. Экологическая безопасность** 54

6.1. Влияние ЭМП на организм человека 55

6.2. Источники ЭМП на рабочем месте 55

6.3. Защита от электромагнитных полей 56

**Выводы** 58

**Список литературы** 59

**Приложения** 73

### Введение.

Неразрушающий контроль (НК) - разработка и применение технических методов исследования материалов или деталей, узлов, компонентов изделий с целью оценки их целостности, свойств, состава и измерения геометрических характеристик путем обнаружения и локализации дефектов, измерения их параметров способами, не ухудшающими последующую эксплуатационную пригодность и надежность.

Классификация ГОСТ 18353 – 73 (вынести ссылкой на список гсотов!)

Неразрушающий контроль, в зависимости от физических явлений, поло-женных в его основу, подразделяется на виды:

* магнитный,
* электрический,
* вихретоковый,
* радиоволновой,
* тепловой,
* оптический,
* радиационный,
* акустический,
* проникающими веществами.

Методы каждого вида неразрушающего контроля классифицируются по следующим признакам:

а) характеру взаимодействия физических полей или веществ с контроли-руемым объектом;

б) первичным информативным параметрам;

в) способам получения первичной информации.

В названии метода должны присутствовать классификационные признаки, изложенные выше, свойственные данному методу неразрушающего контроля.

Допускается применение комбинированных методов одного или несколь-ких видов неразрушающего контроля, классифицируемых по различным призна-кам, изложенным в п. 3.

Классификация методов неразрушающего контроля приведена в табл. 1, 2.

Далее в соответствии с ГОСТ 18353 – 73 «Контроль неразрушающий. КЛАССИФИКАЦИЯ ВИДОВ И МЕТОДОВ».

Наличие механических напряжений в материале сильно влияет на механические свойства

и эксплуатационные качества изделий и конструкций. Так, растягивающие напряжения могут сильно снизить срок службы изделия, приводя к росту трещин и разрушению материала, а сжимающие - способны наоборот, повысить устойчивость деталей по отношению к внешним нагрузкам. Металлические конструкции широко используются в разных областях промышленности. К таким конструкциям относятся рельсы. Срок их эксплуатации напрямую зависит от того в каких климатических условиях они используются. Сжимающие напряжения, возникающие при низких температурах, и растягивающие напряжения при высоких температурах способны снизить срок эксплуатации рельсовых плетей.

Задача продления срока эксплуатации деталей и конструкций приводит к развитию методик измерения остаточных напряжений, возникающих при эксплуатации и обработке деталей и конструкций. Остаточные напряжения возникают при механических нагрузках в процессе эксплуатации изделий, при сварке, а также при различной обработке поверхности.

Приборы неразрушающего контроля – это передний край развития приборостроения. Наибольшее внимание именно к этому направлению обусловлено тем, что – это один из самых надёжных методов современного диагностирования промышленных объектов, в том числе и объектов повышенной опасности. Решение задачи оценки качества требует проведения большого числа метрологических процедур, наиболее важными из которых являются процедуры поверки приборов неразрушающего контроля (НК).

В настоящее время разработано большое число приборов неразрушающего контроля, которые основаны на большом числе методов – магнитный, электрический, вихретоковый, радиоволновый, тепловой, оптический, радиационный, акустический, капиллярный, электронно-оптический. Многие из этих методов рассмотрены в ряде книг например в учебном пособии В.М. Лазарева «Методы и средства неразрушающего контроля», [40 Лаз.] однако в данном пособии не уделено должного внимания акустико-эмиссионному методу неразрушающего контроля.

Метод акустической эмиссии имеет ряд преимуществ перед другими – он менее трудоёмок в подготовительных работах, обнаруживает наиболее опасные виды дефектов, развивающиеся под действием эксплуатационных нагрузок, и не требует полного прекращения эксплуатации объекта для мониторинга. Метод акустической эмиссии является наиболее эффективным т.к. занимается не только обнаружением уже возникших дефектов, решая задачи дефектоскопии, толщинометрии и структурометрии, выявляя статические дефекты, такие как образование микродефектов, неоднородностей или непропаянности. Главное, что данный метод позволяет – выявлять образование динамических микродефектов на самой ранней стадии их возникновения, в условиях реальной эксплуатации под полной нагрузкой, а ошибка на данном уровне наиболее опасна.

Приборы в основу которых положен данный метод НК носят название «Акустико эмиссионные системы». Эти системы неразрушающего контроля применяются во всех опасных отраслях промышленности, и поэтому стало необходимым обеспечивать жёсткий метрологический контроль систем НК на самом высоком уровне.

Ясно, что поверка такой АЭ-системы очень важна. Она необходима с целью повышения эффективности их применения и, чтобы предъявляемые результаты (данные метрологические характеристики) соответствовали нормативным документам РД 03-300-99 «Требования к преобразователям АЭ применяемым для контроля опасных производственных объектов».

# Глава 1. Теория неразрушающего контроля

### 1.1. Общая характеристика методов и средств неразрушающего контроля

Неразрушающий контроль и диагностика – начинающие и определяющие составные части проблемы безопасности. Контроль обозначает проверку соответствия параметров объекта установленным техническим требованиям (ТУ), а неразрушающие методы контроля не должны нарушать пригодность объекта к применению. Несоответствие продукции установленным требованиям является дефектом, для обнаружения и поиска которого используются теория, методы и средства технической диагностики. Неразрушающий контроль – это процесс определения признаков, параметров или показателей качества изделий без их разрушения или ухудшения свойств.

Обычно на практике под методом неразрушающего контроля (МНК) понимают методы, позволяющие выявлять скрытые от невооружённого глаза дефекты без изменения качества, параметров и характеристик изделий. Совокупность таких методов иногда называют интроскопией, т.е. внутренним наблюдением.

К настоящему времени разработано большое количество МНК, основанных на использовании указанных диапазонов волн. Акустические, Акустико–эмиссионные, Вибрационные, Вихретоковые, Капиллярные (проникающими веществами), Магнитные, Оптические (визуальные), Радиоволновые, Радиационные, Тепловые (инфракрасные), Электронно-оптические, Электрические, Электромагнитные. Существуют и другие методы НК. Каждый из указанных МНК основывается на использовании отдельных явлений, проявляющихся в определённом диапазоне волн.

Неразрушающий контроль (НК) – контроль свойств и параметров объекта, при котором не должна быть нарушена пригодность объекта к использованию и эксплуатации.

Традиционные методы неразрушающего контроля (такие, как ультразвуковой, радиационный, токовихревой) обнаруживают геометрические неоднородности путем излучения в исследуемую структуру некоторой формы энергии. Акустическая эмиссия использует другой подход: во-первых, источником сигнала служит сам материал, а не внешний источник, т.е. метод является пассивным (а не активным, как большинство других методов контроля). Во-вторых, в отличие от других методов, акустистико-эмиссионный обнаруживает движение дефекта, а не статические неоднородности, связанные с наличием дефектов, т.е. метод акустической эмиссии обнаруживает развивающиеся, а потому наиболее опасные дефекты.

Рост трещины, разлом включения, расслоения, коррозия, трение, водородное охрупчивание, утечка жидкости или газа и т.п. – это примеры процессов, производящих акустическую эмиссию, которая может быть обнаружена и эффективно исследована с помощью этой технологии.

На рисунке 1 приведена иллюстрация, поясняющая метод акустико-эмисиионного контроля.

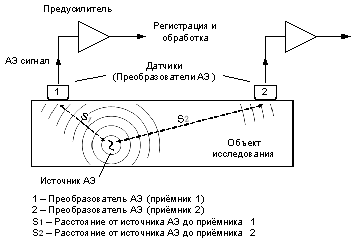


Рис. 1. Метод АЭ контроля

При обнаружении сигнала на 1-м и 2-м приёмниках, регистрируется время прихода сигнала t1 и t2 соответственно. По зарегистрированным t1 и t2 определяется разность времени прихода сигнала ∆t = t2 – t1. Затем по известной скорости звука в материале и известным координатам приёмников вычисляются координаты источника акустической эмиссии (дефекта). Схемы расположения преобразователей и их количество могут быть различными. Чем больше датчиков, тем более точно можно определить местонахождение дефекта.

Метод контроля акустической эмиссией обладает весьма высокой чувствительностью к растущим дефектам – позволяет выявить в рабочих условиях приращение трещины порядка долей миллиметра. Предельная чувствительность акустико-эмиссионной аппаратуры по теоретическим оценкам составляет порядка 1х10-6 мм2, что соответствует выявлению увеличения длины трещины протяженностью 1 мкм на величину 1 мкм.

В качестве имитатора сигналов акустической эмиссии рекомендуется использовать пьезоэлектрический преобразователь, возбуждаемый электрическими импульсами от генератора. Частотный диапазон имитационного импульса должен соответствовать частотному диапазону системы контроля

### 1.2. Классификация методов неразрушающего контроля (НК)

К средствам неразрушающего контроля (НК) относится контрольно–измерительная аппаратура (КИА), в которой используют проникающие поля, излучения и вещества для получения информации о качестве исследуемых материалов и объектов. НК подразделяют на девять видов:

Магнитный, электрический, вихретоковый, радиоволновой, тепловой, оптический, радиационный, акустический и проникающими веществами. [40] Каждый вид НК осуществляют методами, которые классифицируют по следующим трём признакам:

– характеру взаимодействия физических полей или веществ с контролируемым объектом;

– первичным информативным параметрам;

– способам получения первичной информации.

### 1.1.1 Обоснование выбранного исследования метода НК

В последнее время стало происходить всё большее количество аварий и катастроф, связанных с критическим уровнем износа оборудования. Решение задачи оценки качества требует проведения большого числа метрологических процедур, наиболее важными из которых являются процедуры неразрушающего контроля (НК). Появление современных крупномасштабных объектов – атомных электростанций, терминалов со сжиженным газом, морских буровых установок, больших химических комбинатов, крупных авиалайнеров – привело наряду с экономическими выгодами к большим негативным последствиям в случае выхода их из строя. Человечество не может отказаться от таких сооружений, но оно может предотвратить катастрофы или уменьшить их последствия путём эффективного использования методов и средств неразрушающего контроля и технической диагностики.

### 1.1.2. Основные положения о теории акустической эмиссии (АЭ)

Акустическая эмиссия (АЭ) в соответствии с ГОСТ 27655-88 – это испускание объектом контроля (испытаний) акустических волн. [4] Т.е., под АЭ понимается пропускание материалом упругих волн, вызванное динамической локальной перестройкой его структуры. Можно сказать, что АЭ – это излучение УЗК из-за освобождения внутренней энергии материалом изделия при образовании и развитии в нём микродефектов (трещин, скоплений дислокаций), а также при изменении структуры материала (закалки, отжига, радиационных воздействий и др.) Основными источниками АЭ является пластическая деформация и рост трещин. .

Для создания АЭ к изделию обычно прикладывают статическое, динамическое или импульсное механическое воздействие. 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. Колебания распространяются от источника излучения к датчику (датчикам), где они преобразуются в электрические сигналы. АЭ приборы регистрируют эти сигналы и отображают данные на экране в виде осциллограмм, локаций, цифровых индикаций, на основе которых оператор может оценить состояние и поведение структуры материала под напряжением, обнаружить и определить местонахождение дефектов в исследуемых объектах. [46]

Простейший тип волны от акустико-эмиссионного источника представлен на рисунке 2. По существу это импульс напряжения, соответствующий смещению поверхности материала.

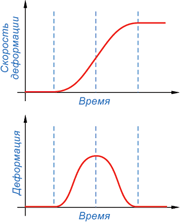
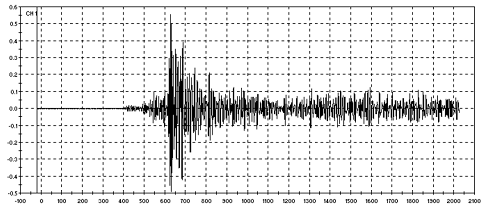


Рис. 2. Простейшая волна АЭ возникающая в источнике

Волновое смещение представляет собой функцию близкую к ступенчатой. Напряжение, соответствующее смещению, имеет форму импульса, ширина и высота которого зависят от динамики процесса излучения. Импульсы таких источников как проскок микротрещины или разрушение осажденных фракций имеют малую длительность (порядка микросекунд или долей микросекунд). Амплитуда и энергия первоначального импульса акустической эмиссии может меняться в широком диапазоне в зависимости от типа источника акустической эмиссии. Зародившаяся волна (импульс) распространяется от источника во всех направлениях, при этом распространение в соответствии с природой источника может носить ярко выраженный анизотропный характер (т.е. зависимость скорости распространения от направления).

Форма первоначальной волны претерпевает существенные изменения при распространении в среде материала и при преобразовании датчиком, поэтому сигнал, пришедший с датчика, весьма отдаленно напоминает исходный сигнал от источника. На рисунке 3 приведён типичный сигнал эмиссии.

  
Рис. 3 Типичный импульсный сигнал АЭ

Такое изменение формы акустико-эмисиионного сигнала является важной проблемой, с которой приходится сталкиваться как при исследованиях функции источника, так и при решении практических задач неразрушающего контроля. Те исследователи, которые стремятся определить первоначальную форму сигнала, используют широкополосные датчики и производят подробный анализ начальной части зарегистрированного сигнала. Это важный, но вместе с тем очень непростой способ исследования, т.к. обработка одного сигнала может занимать длительное время. В связи с этим многие исследователи в области испытания материалов и неразрушающего контроля в большей степени заинтересованы в получении статистических оценок параметров акустической эмисии, чем в подробном изучении характеристик отдельных источников эмиссии. Они используют узкополосную аппаратуру, позволяющую измерять лишь некоторые параметры формы сигналов, но одновременно с этим – регистрировать большие потоки сигналов (сотни сигналов в секунду).

### 1.3. Виды акустической эмиссии (АЭ)

В зависимости от физического источника принято разделять явления АЭ на следующие виды:

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

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

3. Акустическая эмиссия трения – акустическая эмиссия, вызванная трением поверхностей твёрдых 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. [45]

### 1.3.1. Виды акустических методов (пассивные, активные)

Любые акустические методы основаны на анализе характера измерения параметров упругих колебаний, возбуждаемом в контролируемом изделии. Их делят на две большие группы – активные и пассивные методы. Активные методы основаны на излучении и приёме упругих волн, пассивные – только на приёме волн, источником которых служит сам контролируемый объект.

Активные методы делят на методы прохождения, отражения, комбинированные (использующие как прохождение, так и отражение), импедансные и методы соб­ственных частот.

Методы прохождения используют излучающие и приёмные преобразователи расположенные по разные или по одну сторону от контролируемого изделия. Используются для обнаружения несплошностей.

Методы отражения используют импульсное излучение, и применяют как один, так и два преобразователя (приёмо-анализирующее устройство) в котором определяется поверхностная или внутренняя структура объекта. Решают задачи дефектоскопии.

Комбинированные т.е. использующие как прохождение, так и отражение акустических волн, применяются при контроле соединения в многослойных конструкциях и изделий из слоистых пластиков.

Импедансные, которые используют зависимость импедансов (отношение комплексных амплитуд звукового давления и объёмной колебательной скорости частиц среды) изделий при их упругих колебаниях от параметров этих изделий и наличия в них дефектов. Применяются для контроля твёрдости.

Методы соб­ственных частот основаны на измерении спектров колебаний контролируемых объектов. По резонансным частотам определяют толщину стенки изделия и наличия в нём дефектов.

Все активные акустические методы позволяют выявить статические дефекты. К числу статических дефектов можно отнести: различные неоднородности материала из которого сделано изделие, дефекты из-за коррозии, плохое качество пайки, сварки, склейки, расслоения и др. А также активными методами можно определить толщину (размеры) изделия и оценивать структуру материала изделия.

Пассивные акустические методы основаны на анализе упругих колебаний волн, возникающих в самом контролируемом объекте. Контактирующие с изделием пьезопреобразователи принимают упругие волны и позволяют установить место их источника (дефекта). Наиболее характерным пассивным методом является акустико-эмиссионный метод изображенный на рисунке № 1.1. [41]

Пассивные акустические методы делятся на вибрационно– и шумо–диагностические. При вибрационном анализируют параметры вибрации какой либо отдельной детали, с помощью приёмников контактного типа. А при шумо-диагностическом изучают спектр шумов работающего механизма с помощью микрофонных приёмников.

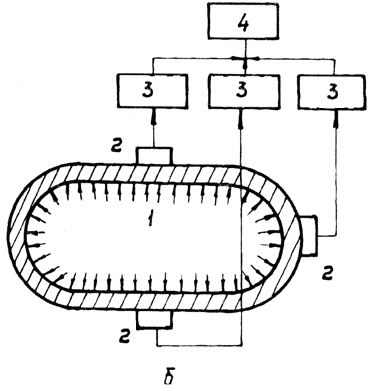


Рис. 1.1 Метод контроля – акустико-эмиссионный.

1 – объект контроля;

2 – приёмник;

3 – усилитель;

4 – блок обработки информации с индикатором

Характерными особенностями метода АЭ контроля, определяющими его

возможности и область применения, являются следующие:

– метод АЭ контроля обеспечивает обнаружение и регистрацию только развивающихся дефектов, что позволяет классифицировать дефекты не по размерам, а по степени их опасности;

– метод АЭ контроля обладает весьма высокой чувствительностью к растущим дефектам – позволяет выявить в рабочих условиях приращение трещины порядка долей миллиметров Предельная чувствительность акустико-эмиссионной аппаратуры по теоретическим оценкам составляет порядка 1:10. [2]

### 1.3.2 Физическая основа АЭ. Основные источники АЭ

Физической основой метода АЭ является акустическое излучение во время пластической деформации твёрдых сред при развитии дефектов, трещин, прохождении жидких и газообразных веществ через узкие отверстия – сквозные дефекты. Метод АЭ контроля основан на обнаружении, регистрации и анализе упругих колебаний, возникающих при пластической деформации твёрдых сред, развитии дефектов (трещины, микротрещины, расслоения, коррозия, водородное охрупчивание и т.п.), трении, утечки. Эти процессы неизбежно порождают волны, регистрируя которые, можно судить о протекании процессов и их параметрах.

Суть физики процесса в следующем: все материалы находятся в состоянии «твёрдое тело» благодаря межатомным и межмолекулярным силам. Эти силы весьма велики, пока расстояние между атомами не превышает некоторого критического размера. Если участок материала растягивать (деформировать), то, естественно, межатомные расстояния изменяются, увеличиваются. Наконец, наступает момент, когда межатомные силы оказываются не в состоянии удерживать атомы, а, наоборот, стремятся оттолкнуть эти атомы друг от друга. Происходит разрыв связи. Аналогичные связи и силы имеются и у групп атомов. Прочности связей внутри тела очень сильно различаются. Прочность тела, по сути, определяется некоей среднестатистической величиной связей. При разрыве связи атомы не могут свободно разлететься в разные стороны – мешают соседи, которые будут пытаться вернуть «беглецов» на исходное место. В результате атомы в месте разрыва связи начинают колебаться относительно своего исходного положения. Эти колебания передаются соседним атомам. Рождается упругое колебание, в теле распространяется упругая волна. Процесс разрыва быстро затухает, поэтому упругое колебание имеет форму короткого импульса. Вот эти-то импульсы упругих колебаний и называют «акустической эмиссией» (АЭ). [51]

Источник АЭ – это область объекта испытаний, в которой происходит преобразование какого-либо вида энергии в механическую энергию акустической эмиссии. Основными источниками акустической эмиссии для целей диагностики и НК технического состояния промышленных объектов являются пластическая деформация и рост трещин.

### 1.4. Основные положения акустико – эмиссионного контроля

Согласно ГОСТу 23829-85 под акустико-эмиссионным методом понимают метод контроля (испытаний), основанный на анализе параметров упругих волн акустической эмиссии. [2] Для получения сигнала АЭ объект обычно подвергают нагружению. Упругие колебания волн, возникают в самом контролируемом объекте, т.е. упругие волны излучаются самим материалом в результате внутренней динамической локальной перестройки его структуры. Контактирующие с изделием пьезопреобразователи принимают упругие волны и время прихода сигнала ti на i-й приемник(Рис 5). Полученный при этом сигнал взаимодействия подаётся на приёмно-анализирующее устройство, в котором проводится анализ сигнала взаимодействия по известной скорости звука в материале и известным координатам приёмников. Далее программой вычисляются наличие и координаты источника (дефекта).

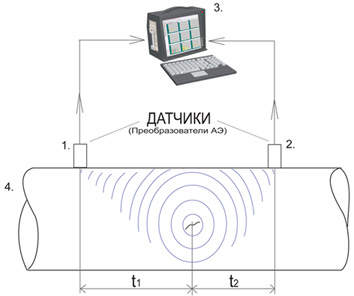


Рис.5. Принцип определения координат дефектов.

1 – преобразователь АЭ (приемник 1);

2 – преобразователь АЭ (приемник 2);

3 – центральный блок сбора и обработки на базе индустриального компьютера;

4 – объект контроля;

t1 – время прихода сигнала на первый приемник;

t2 – время прихода сигнала на первый приемник.

В соответствии с правилами применения метода АЭ (ПБ-03-593-03)[11], данный метод обеспечивает выявление развивающихся дефектов, что даёт возможность формировать адекватную систему классификации дефектов и критерии оценки технического состояния объекта, основанные на реальном влиянии дефекта на объект.

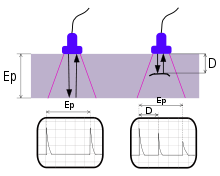
### 1.4.1. Общий принцип работы АЭ метода контроля

АЭ метод является весьма производительным и экономически эффективным средством неразрушающего контроля. Он основан на регистрации упругих волн, генерируемых при высвобождении энергии из области дефектов нагруженным материалом. Причинами возникновения акустических волн могут быть рост микро и макро дефектов, трение берегов трещин, течь, деформация и др.

Акустические волны с помощью установленных на поверхности контролируемого объекта приёмников преобразуются в электрические сигналы и регистрируются АЭ аппаратурой. Схема установки приёмников выбирается с учетом типа контролируемого оборудования, ослабления сигналов, уровня шумов, а расстояние между ними обычно составляет от одного до десятков метров. При проведении АЭ контроля для стимулирования акустической активности, как правило, необходимо варьировать режим нагружения испытуемого оборудования (увеличивать или уменьшать давление, температуру и т.п.). Акустико-эмиссионный метод позволяет диагностировать оборудование в рабочем режиме, производить контроль недоступных участков, выявлять развивающиеся дефекты, предотвращать разрушение при испытаниях на прочность.

### 1.5. Ультразвуковая дефектоскопия

|  |  |
| --- | --- |
| |  | | --- | |  | |

[](http://dic.academic.ru/pictures/wiki/files/85/UT_principe.svg)

**Принцип работы**

Звуковые волны не изменяют траектории движения в однородном материале. Отражение акустических волн происходит от раздела сред с различными удельными акустическими сопротивлениями. Чем больше различаются акустические сопротивления, тем большая часть звуковых волн отражается от границы раздела сред. Так как включения в металле часто содержат воздух, имеющий на несколько порядков большее удельное акустическое сопротивление, чем сам металл, то отражение будет практически полное.

Разрешающая способность акустического исследования определяется длиной используемой звуковой волны. Это ограничение накладывается тем фактом, что при размере препятствия меньше четверти длины волны, волна от него практически не отражается. Это определяет использование высокочастотных колебаний — ультразвука. С другой стороны, при повышении частоты колебаний быстро растет их затухание, что ограничивает доступную глубину контроля. Для контроля металла наиболее часто используются частоты от 0.5 до 10 МГц.

**Возбуждение и прием ультразвука**

Существует несколько методов возбуждения ультразвуковых волн в исследуемом объекте. Наиболее распространенным является использование пьезоэлектрического эффекта. В этом случае излучение ультразвука производится с помощью преобразователя, который преобразует электрические колебания в акустические с помощью обратного пьезоэлектрического эффекта. Отраженные сигналы попавшие на пьезопластину из-за прямого пьезоэлектрического эффекта преобразуются в электрические, которые и регистрируются измерительными цепями.

**Преимущества**

Ультразвуковое исследование не разрушает и не повреждает исследуемый образец, что является его главным преимуществом. Возможно проводить контроль изделий из разнообразных материалов, как металлов, так и неметаллов. Кроме того можно выделить высокую скорость исследования при низкой стоимости и опасности для человека (по сравнению с рентгеновской дефектоскопией) и высокую мобильность ультразвукового дефектоскопа.

**Недостатки**

Использование пъезоэлектрических преобразователей требует подготовки поверхности для ввода ультразвука в металл, в частности создания шероховатости поверхности не ниже класса 5, в случае со сварными соединениям ещё и направления шероховатости (перпендикулярно шву). Ввиду большого акустического сопротивления воздуха, малейший воздушный зазор может стать неодолимой преградой для ультразвуковых колебаний. Для устранения воздушного зазора, на контролируемый участок изделия предварительно наносят контактные жидкости, такие как вода, масло, клейстер. При контроле вертикальных или сильно наклоненных поверхностей необходимо применять густые контактные жидкости с целью предотвращения их быстрого стекания.

Для контроля изделий с внешним диаметром менее 200мм, необходимо использовать преобразователи, с радиусом кривизны подошвы R, равным 0,9-1,1R радиуса контролируемого объекта, так называемые притертые преобразователи, которые в таком виде непригодны для контроля изделий с плоскими поверхностями.

Как правило ультразвуковая дефектоскопия не может дать ответ на вопрос о реальных размерах дефекта, лишь о его отражательной способности в направлении приемника.

### 1.6. Особенности метода

1. Метод АЭ является комплексным методом исследования материалов и процессов технической диагностики и неразрушающего контроля природных и промышленных объектов.

2. Метод АЭ обеспечивает обнаружение и регистрацию ещё только развивающих,ся дефектов, что позволяет классифицировать дефекты не по размерам или каким либо другим второстепенным или косвенным признакам критической или катастрофической ситуации, а по степени их опасности для контролируемого объекта, их влияния на прочность объекта.

«Дефект – каждое отдельное несоответствие про­дукции установленным требованиям» [ГОСТ 15467-79]. В большинстве случаев в НК под дефектом подразумевают несплош­ность материала объекта. Однако опасными нужно счи­тать только те несплошности, которые развиваются, уве­личиваются в размерах и приводят в конце концов к раз­рушению. В противном случае имеют место значитель­ные потери из-за перебраковки. Объект может выйти из строя не только в результате роста несплошностей, но также из-за изменения формы, потери устойчивости и ряда других причин. И в этих случаях АЭ также сигнализирует о развитии нежелательных процессов. Тем самым повышается надёжность эксплуатации оборудова­ния. Указанное качество метода АЭ позволяет принципи­ально по-новому подходить к определению опасности дефекта. Данное свойство, являющееся одним из наиболее важных достоинств и преимуществ метода АЭ можно охарактеризовать как «адекватность» метода.[41]

3. Метод АЭ обладает высокой чувствительностью к растущим дефектам. Его чувствительность значительно превосходит чувствительность других методов. Пре­дельная чувствительность акустико-эмиссионной аппаратуры, по расчетным оценкам, составляет порядка 1**·**10**–**6 мм2, что соответствует выявлению скачка трещи­ны протяженностью 1 мкм на величину 1 мкм. В произ­водственных условиях метод АЭ позволяет выявить приращение трещины на десятые доли миллиметра.

4. Метод АЭ обладает свойством «интегральности», заключающимся в том, что, используя один или несколько преобразователей АЭ, установленных непод­вижно на поверхности объекта, можно проконтролировать весь объект. Координаты дефектов определяются без сканирования поверхности объекта преобразовате­лями. Следовательно, от состояния поверхности и каче­ства её обработки не зависят выполнение контроля и его результаты. Свойство интегральности особенно полезно в случае, если доступ к поверхности контролируемого объекта затруднен или невозможен. Подобная ситуация характерна, например, для теплоизолированных трубопроводов и сосудов, объектов, размещённых под землёй, конструкций, работающих в сложных условиях: ракет, самолётов, атомных реакторов и многих других объектов.

5. Дистанционность метода АЭ, проявляется в том, что контроль можно производить при удалении оператора от контролируемого объекта. Поэтому контролю доступны такие протяжённые объекты, как магистральные трубопроводы, недоступные объекты и др.

6. Весьма полезной особенностью является возможность проведения АЭ контроля различ­ных технологических процессов, процессов изменения свойств и состояния материалов в реальном времени. Например, контроль сварки в процессе её проведения даёт возможность оперативно осуществлять ремонт, не снимая изделия со стенда. Так, при электронно-лучевой сварке ремонт можно выполнять без разгерметизации камеры.

7. В отличие от большинства методов НК, для которых на выявляемость дефекта и достоверность контроля влияют не только размеры дефекта, но и его вид (плоскостной или объёмный), для метода АЭ форма, положение, ориентация дефекта не имеют существенного значения.

8. Метод АЭ имеет меньше ограничений, связанных со свойствами и структурой конструкционных материалов, чем другие методы НК. Метод АЭ используют для контроля композиционных материалов, для которых применение других методов НК в ряде случаев затруднено или невозможно.

9. АЭ контроль и оценка технического состояния объекта производимые в реальном времени в процессе его работы, позволяют предотвратить катастрофическое разрушение контролируемого объекта.

10. Метод АЭ во многих случаях при контроле промышленных объектов имеет высокое, возможно даже максимальное отношение эффективность/стоимость в области НК и диагностики.

### 1.7. Достоинства и недостатки метода акустической эмиссии

Традиционные методы НК используют, как правило, пространственно-ограниченные физические поля, возбуждаемые в изделии инструментом контроля. В отличие от известных методов, являющихся в этом смысле активами, метод АЭ является пассивным методом НК, т.е. источником регистрируемого физического поля является сам дефект. Причём природа этого поля и его параметры обеспечивают получение такой информации, какую невозможно получить, применяя другие методы НК. Сравнительная оценка методов НК и метода АЭ приведена в таблице № 1.[50]

Как пассивный метод НК метод АЭ имеет определённое сходство с другими пассивными методами – тепловым, вибрационным и другими. Особенно он близок к вибрационному методу. Однако принципиальным отличием метода от вибрационного заключается в том, что метод АЭ при решении задачи обнаружения дефекта конструкции позволяет непосредственно выявлять развивающиеся дефекты, а вибрационный метод выявляет только те дефекты, которые оказывают влияние на жёсткость объекта как цельной конструкции и его вибрационные характеристики.

Метод АЭ имеет целый ряд преимуществ перед традиционными методами неразрушающего контроля:

1). Первым достоинством метода является простота процесса для понимания исходящая из самой физики процесса [см. 1.7.] т.е. в связи с тем, что все контролируемые объекты являются материалами, которые находятся в твёрдом состоянии, то при появлении дефекта межатомные расстояния в них изменяются, увеличиваются и происходит разрыв межмолекулярной связи. В результате атомы в месте разрыва связи увеличивают свои колебания относительно своего основного положения. Эти колебания передаются соседним атомам – так рождается упругое колебание и в теле распространяется упругая волна. Процесс разрыва быстро затухает и поэтому упругое колебание имеет форму короткого импульса. Вот эти-то импульсы упругих колебаний, называемые «акустической эмиссией» (АЭ) и можно зарегистрировать преобразователями.

2). Чтобы родился импульс акустической эмиссии, нужна некая внешняя сила, деформирующая твёрдое тело. Эту силу можно привнести механическим способом – нагружая материал. Каждому уровню деформирования твёрдого тела соответствует определенное число связей, которые способны выдержать такую степень «растаскивания» атомов. Если деформировать материал ступенями нагрузки и регистрировать импульсы акустической эмиссии, то можно обнаружить закономерность, по которой изменяется число импульсов АЭ при деформировании тела. В зоне дефекта среда уже нагружена из-за концентрации механических напряжений. Поэтому импульсы АЭ появляются в зоне дефекта почти сразу после начала нагружения. Это – второе достоинство метода.

3). Импульс АЭ распространяется в виде сферической волны, как волна от камня, упавшего в воду. Если в разных местах изделия поставить по преобразователю – приёмнику импульсов АЭ, то, используя известные из радиопеленгации приёмы можно установить координаты точки, из которой вышел импульс АЭ. Тем самым, можно установить положение дефекта. Это – третье достоинство метода.

4). При наступлении критического напряженно-деформированного состояния контролируемого объекта интенсивность шума АЭ лавинообразно нарастает, что очень наглядно сообщает оператору о грядущей гибели конструкции. И это – тоже важное достоинство.

5). Также АЭ метод позволяет получать огромные массивы информации, оперативно и с минимальными затратами регулировать и продлевать эксплуатационный цикл ответственных промышленных объектов, помогает в прогнозировании вероятности возникновения аварийных разрушений и катастроф. Широкие возможности АЭ метод предоставляет и при исследовании различных свойств материалов, веществ, конструкций.

6). Интегральность метода, которая заключается в том, что, используя один или несколько датчиков установленных неподвижно на поверхности объекта, можно проконтролировать весь объект целиком (100% контроль). Это свойство метода особенно полезно при исследовании труднодоступных или совсем недоступных поверхностей контролируемого объекта.

7). В отличие от сканирующих методов НК, метод АЭ не требует тщательной подготовки поверхности объекта контроля. Следовательно, выполнение контроля и его результаты не зависят от состояния поверхности и качества её обработки. Изоляционное покрытие (если оно имеется) снимается только в местах установки датчиков.

8). Обнаружение и регистрация только развивающихся дефектов, что позволяет классифицировать дефекты не по размерам (или по другим косвенным признакам – форме, положению, ориентации дефектов), а по степени их опасности т.е. влиянию на прочность для контролируемого объекта.

9). Высокая производительность, во много раз превосходящая производительность традиционных методов НК, таких как ультразвуковой, радиографический, вихретоковый, магнитный и др.

10). Дистанционность метода – возможность проведения контроля при значительном удалении оператора от исследуемого объекта. Данная особенность метода позволяет эффективно использовать его для контроля (мониторинга) ответственных крупногабаритных конструкций, протяженных или особо опасных объектов без вывода их из эксплуатации и вреда для персонала.

11). Возможность отслеживания различных технологических процессов и оценка технического состояния объекта в режиме реального времени, что позволяет предотвратить аварийное разрушение контролируемого объекта.

12). Максимальное соотношение эффективность \ стоимость.

Однако этот метод обладает не только достоинствами, но и недостатками:

1). Например, есть зарубежные комплекты дискриминаторов сигналов АЭ, которые слишком сложны т.к. к нему ещё требуются специальные кабели, комплекты преобразователей и предусилителей, специальное программное обеспечение (ПО).

2). Также не показывается коэффициент концентрации механических напряжений в интересующей точке конструкции.

3). К тому же метод АЭ предъявляет повышенные требования по квалификации и добросовестности операторов. Даже если при работе с прибором не требуется никакой дополнительной обработки результата измерения и результат автоматически отображается на дисплее, для обработки данных получаемых приборами, использующими эффект АЭ, надо уметь понимать такие картинки, и поэтому их анализ доступен только высококвалифицированным специалистам. Очевидно, что практикам удобнее и проще работать, когда им не потребуется приобретать громоздкое, сложное и дорогостоящее оборудование для обработки данных, содержать дорогих, высококлассных специалистов для работы на нём, переживать за его техническое состояние.

4). Также к недостаткам можно отнести и то, что достоверность засечки цели – дефекта – заметно зависит от конструктивных особенностей объекта. Ведь упругая волна не просто распространяется от дефекта к приёмнику – по пути она претерпевает множество искажений (отражения от неоднородностей, от стенок конструкции, трансформации волн).

5). Методы обнаружения акустической эмиссии эффективны тогда, когда в объекте контроля отсутствует высокочастотная вибрация, возбуждаемая другими источниками, например, потоками газа или жидкости, как это имеет место в трубопроводах под давлением.

6). Если конструкция находится в постоянном напряженно–деформированном состоянии, то и щелчков никаких аппаратура не зарегистрирует – такова физика. Значит, объект надо нагружать в процессе контроля. Это не всегда удобно или даже возможно. В некоторых методиках требуют такого уровня нагружения, что после испытания АЭ вообще не нужна – ведь испытание «опрессовкой» уже дало прямой ответ на поставленный вопрос: либо объект выдержал и будет далее под рабочим давлением работать, либо разрушился.

7). Также недостаткомметода акустической эмиссии, ограничивающей его применение, является в ряде случаев трудность выделения сигналов акустической эмиссии из помех. Это объясняется тем, что сигналы акустической эмиссии являются шумоподобными, поскольку акустическая эмиссия есть стохастический импульсный процесс. Поэтому, когда сигналы АЭ сравнимы по амплитуде с уровнем шумов, т.е. малы по амплитуде, выделение полезного сигнала из помех представляет собой сложную задачу. Однако когда размеры дефекта существенно увеличиваются и приближаются критическому значению, амплитуда сигналов АЭ и темп их генерации резко увеличиваются. Это приводит к значительному возрастанию вероятности обнаружения такого источника АЭ.

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

Таблица № 1

**Таблица сравнительной оценки методов НК и метода АЭ**

|  |  |
| --- | --- |
| **Традиционные методы НК** | **Метод АЭ** |
| Большая трудоёмкость подготовительных работ и контроля | Трудоёмкость подготовительных работ в сотни раз меньше |
| Невозможность распознавания дефектов, которые развиваются под действием эксплуатационных нагрузок | Обнаруживаются и локализуются наиболее опасные (развивающиеся под действием эксплуатационных нагрузок) виды дефектов |
| Для проведения контроля требуется полное прекращение эксплуатации объекта | Контроль может осуществляться в условиях реальной эксплуатации или при воздействии эквивалентных испытательных нагрузок при кратковременной остановке |

Л

### 1.13. Общие выводы по Акустическим методам неразрушающего контроля

Из приведённого выше анализа акустических методов НК можно сделать следующие основные выводы:

1. Акустические методы НК находят широкое применение в дефектоскопии и толщинометрии и частично в структурометрии.

2. Акустические методы позволяют выявлять дефекты размером порядка долей и единиц микрометров на глубинах до единиц метров.

3. Акустические методы позволяют выявлять дефекты, как в магнитных, так и в немагнитных материалах.

4. Акустические методы позволяют выявлять дефекты как в процессе производства изделий, например при производстве изделий электронной техники (ИЭТ), так и в условиях их эксплуатации.

5. Акустические методы могут быть использованы для выявления наличия вещества на молекулярном уровне.

6. Акустические методы широко используются для проведения различных медицинских исследований, в том числе для производства ультразвуковых исследований (УЗИ). [42]

Большинство современных процессорных дефектоскопов имеют встроенную энергонезависимую память, что даёт возможность запоминать полученные в процессе контроля результаты, передавать эти результаты в ПК для последующей расшифровки и представления в виде документа. Каждый из приборов имеет свой набор данных, протокол обмена и вариант представления результатов контроля. При этом трудоёмкий процесс расшифровки, хранения и окончательного представления данных остаётся за пользователями дефектоскопов. Хранение результатов контроля в виде компьютерных баз данных упрощает сбор и подготовку первичной информации для последующего использования в автоматизированных переносных, стационарных или мобильных комплексах НК.

Метод акустико-эмиссионной диагностики, как метод неразрушающего контроля, обладает не только более высокой производительностью (в сотни раз превосходящей производительность классических методов неразрушающего контроля, таких как рентген, ультразвук и др.), но и даёт ответ на главный вопрос – имеются ли в материале конструкции потенциально опасные дефекты, которые в будущем могут стать причиной разрушения, и оценить степень их опасности. А также позволяет повысить безопасность эксплуатации, продлить ресурс работы оборудования, заменить гидравлические испытания сосудов давления пневматическими, существенно сократив сроки регламентных работ технологических установок.

# Глава 2. Ультразвуковые дефектоскопы

### 2.1. Классификация ультразвуковых дефектоскопов

**Ультразвуковой дефектоскоп** - это электронно-акустическое устройство, предназначенное для возбуждения-приема ультразву­ковых колебаний с целью обнаружения нарушений сплошности или однородности материалов и измерения их характеристик. Дефектоскоп преобразует колебания в вид, удобный для вывода на со­ответствующий индикатор. Он снабжен сервисными устройствами для на­стройки и сохранения параметров контроля и измерения параметров при­нятых сигналов.

Согласно ГОСТ 23049, в зависимости от области применения дефектоскопы делятся на приборы общего назначения и специализированные. В зависимости от функционального назначения дефектоскопы подразделяют на следующие группы:

1. Для обнаружения дефектов (пороговые дефектоскопы, обычно вместо экрана имеют светодиодный индикатор, показывающий факт превышения сигналом порогового уровня);

2. Для обнаружения дефектов, измерения глубин их залегания и измерения отношения амплитуд сигналов от дефектов;

3. Для обнаружения дефектов, измерения глубин их залегания и измерения эквивалентной площади дефектов по их отражающей способности или условных размеров дефектов;

4. Для обнаружения дефектов, распознавания их форм или ориентации, для измерения размеров дефектов или их условных размеров.

По конструктивному исполнению дефектоскопы подразделяются на стационарные, переносные и портативные.

По степени участия дефектоскописта в процессе контроля различают ручные, механизированные и автоматизированные дефектоскопы.

Условное буквенно-цифровое обозначение отечественных дефектоско­пов состоит из букв УД (для дефектоскопов общего назначения) или УДС (для УЗДС), номера груп­пы назначения и порядкового номера модели. Например: УД2-12 относится ко второй группе, а УД3-103 «Пеленг» – к третьей.

Функциональная схема дефектоскопа общего назначения.

Функциональная схема цифрового микропроцессорного дефектоскопа представлена на рис. 5.1. В дефектоскопе можно условно выделить два ос­новных блока: блок управления и памяти и собственно дефектоскопичес­кий блок.

|  |
| --- |
|  |
| Рис. 2.1. Функциональная схема цифрового микропроцес­сорного дефектоскопа |

Дефектоскоп работает следующим образом. По команде с пульта уп­равления (ПУ) центральный процессор (ЦП) включает дефектоскоп. По сигналу центрального процессора производится самотестирование дефек­тоскопа, после чего он устанавливается в исходное состояние. В различных типах приборов исходное состояние обычно характеризуется одним из двух режимов:

* рабочий режим, использовавшийся перед последним выключением;
* начальный диалоговый режим, используя который оператор устанавли­вает необходимый рабочий режим.

Генератор импульсов синхронизации (ГИС) через определенные промежутки времени вырабатывает электрические импульсы, которые со­гласовывают во времени работу различных блоков прибора.

Генератор импульсов возбуждения (ГИВ) вырабатывает короткий элек­трический импульс, который через разъем Р1 подается на пьезоэлемент ПЭП1. На схеме показан ключ К в разомкнутом положении. Это означает, что ПЭП1 работает только в режиме излучения, а ПЭП2 - только в режиме приема. Вследствие обратного пьезоэлектрического эффекта пьезоэлемент ПЭП1 преобразует электрический импульс в упругое колебание, которое распространяется в объекте контроля (ОК), формируя ультразвуковую волну. Колебания, отраженные от противоположной поверхности ОК или от дефектов, возвращаются к поверхности контроля. Вследствие явления прямого пьезоэлектрического эффекта пьезоэлемент ПЭП2 преобразует упругое колебание в электрический импульс, который через разъем Р2 пос­тупает в приемно-усилительный тракт (ПУТ).

**Режим работы, при котором к дефектоскопу подключены два пьезоэлемента, один из которых работает только в режиме излучения, а второй - только в режиме приема (ключ К разомкнут), называется раздельным.**

**Режим работы, при котором к дефектоскопу под­ключен один пьезоэлемент, работающий как в режиме излучения, так и в режиме приема (ключ К замкнут) называется совмещенным.**

Далее сигнал усиливается и преобразуется в приемно-усилительном тракте, а затем подается на амплитудно-цифровой преобразователь (АЦП). АЦП преобразует аналоговый сигнал (в данном случае - электрический импульс, прошедший приемно-усилительный тракт) в цифровой код. Закодированный сигнал поступает на дисплей (Д), где формирует установ­ленный тип развертки.

В постоянном запоминающем устройстве (ПЗУ) записаны и хранятся блоки базовой настройки дефектоскопа. Пользователи дефектоскопов, как правило, не имеют доступа к этим параметрам, следовательно, не имеют возможности изменять их случайно или по собственному желанию.

В оперативном запоминающем устройстве (ОЗУ) накапливается, обра­батывается, хранится в цифровом виде и используется текущая информа­ция о режимах настройки и параметрах поступающих сигналов.

Микропроцессорный дефектоскоп имеет интерфейс - устройство для обмена информацией с персональным компьютером.

Рассмотрим более подробно работу отдельных блоков.

Генератор синхронизирующих импульсов

Он обеспечивает согласование во времени работы блоков дефектоскопа, реализуя импульсный режим излучения-приема колебаний. В частности, он обеспечивает одновременный (или задержанный на опре­деленный временной интервал) запуск генератора импульсов возбуждения и формирования развертки. При ручном контроле синхронизатор работает в режиме самовозбуждения, а при использовании дефектоскопа в много­канальной аппаратуре механизированного и автоматизированного конт­роля может переключаться в режим внешнего запуска. Число импульсов, генерируемых синхронизатором в единицу времени (частота синхрониза­ции), в различных модификациях дефектоскопов изменяется в пределах 25 - 8000 Гц. Эта частота определяет частоту следования зондирующих импульсов, то есть акустических импульсов, посылаемых в объект контроля,

**Частотой следования зондирующих импуль­сов называется количество импульсов упругих колебаний, вводимых дефектоскопом в объект контроля в единицу времени.**

Частота следования выбирается в зависимости от задач контроля, затуха­ния в объекте контроля, геометрических размеров и формы объекта контроля.

В большинстве дефектоскопов общего назначения частота следования переключается авто­матически с переключением диапазона контроля (увеличивается с умень­шением диапазона контроля). В некоторых приборах предусмотрена регу­лировка частоты следования. С точки зрения увеличения скорости контро­ля на автоматизированных установках (а, следовательно, и его производи­тельности) частоту следования желательно выбирать возможно большей. При ручном контроле этот фактор не имеет значения, поскольку скорость сканирования ограничена другими причинами.

Генератор импульсов возбуждения

ГИВ вырабатывает высокочастот­ные электрические импульсы, возбуждающие излучающую часть ПЭП. Несущая частота импульсов (частота высокочастотных колебаний, запол­няющих импульс) подстраивается индуктивностью, монтируемой либо в приборе, либо в преобразователе. Генерируются экспоненциальные затуха­ющие или, более рациональные энергетически, колоколообразные импуль­сы. В некоторых дефектоскопах предусмотрена возможность регулировки мощности генерируемого импульса. Это осуществляется путем изменения его амплитуды и длительности.

Управляющий сигнал от синхронизатора поступает в генератор импуль­сов возбуждения несколько позднее, чем начинается развертка изображе­ния на дисплее для того, чтобы возрастание зондирующего импульса было видно на дисплее уже несколько правее начала нулевой линии.

В современных дефектоскопах используют программируемый генера­тор высокочастотных импульсов и высокочастотный усилитель, позволяю­щие создавать импульсы различной частоты и формы (ударный, синусои­дальный, меандр и др.)

Длительность возбуждаемого электрического импульса не превышает единиц микросекунд. Амплитуду импульса можно регулировать путем из­менения напряжения на генераторе или изменением нагрузочного сопро­тивления на выходе излучателя. При этом одновременно оказывается воз­действие на демпфирование подключенного колебательного контура, что, в свою очередь, вызывает изменение ширины импульса. Однако во многих случаях практического контроля этот дополнительный эффект не является недостатком: при работе с импульсами большой мощности чаще всего мож­но примириться и с большой длительностью импульса, так как в этих слу­чаях речь пойдет о больших глубинах, а разрешающая способность будет иметь второстепенное значение. И, наоборот, для меньшей глубины конт­роля, особенно вблизи поверхности, можно использовать ослабленный, но зато более короткий импульс. Амплитуда электрического импульса может достигать 400 - 500 В на 1 мм толщины пьезоэлемента из пьезокерамики. Дальнейшее увеличение напряжения может привести к пробою и разруше­нию пьезопластины.

Если кабель недостаточно хорошо согласован с волновыми сопротивле­ниями прибора и ПЭП, то частота будет зависеть от его емкости. По этой причине кабель не может иметь произ­вольную длину. Для получения максимальной мощности от данного генера­тора возбуждения необходимо правильно согласовать и реактивное сопро­тивление ПЭП. Для этой цели в ПЭП встраивают катушку индуктивности.

### 2.2. Приемно-усилительный тракт дефектоскопа.

Предназначен для приема и детектирова­ния сигналов, поступающих на ПЭП. Обычно этот тракт содержит следующие блоки (Рис. 2.2): предварительный усилитель (ПУ), измеритель отношения амплитуд сигналов - аттенюатор (А), усилитель высокой частоты (УВЧ), де­тектор (Д), импульсный видеоусилитель (ИВУ), отсечку шумов (О).

|  |
| --- |
|  |
| Рис. 2.2. Функциональная схема приемно-усилительного тракта |

**Предварительный усилитель** обеспечивает согласование усилительного тракта с приемным преобразователем. Он содержит ограничитель амплиту­ды, предохраняющий усилитель от перегрузок, связанных с воздействием зондирующего импульса (когда преобразователь включен по совмещен­ной схеме). При этом сигналы небольшой амплитуды практически не ис­кажаются. Одной из задач предварительного усилителя является усиление небольших эхо-сигналов для того, чтобы через обусловленный тепловым движением электронов обязательный «уровень шумов» поднять их до сле­дующей схемы.

**Аттенюатор** - это устройство, которое служит для калиброванно­го ослабления и измерения отношений амплитуд принятых сигналов.

При этом сравниваются амплитуды двух или нескольких сигналов в относительных единицах, обычно в децибелах. Аттенюатор располагается вблизи входа приемно-усилительного тракта для того, чтобы искажения амплитуд поступивших сигналов были минимальны. Отсчет аттенюатора ведется относительно некоторого нулевого уровня. Так, например, показа­ние аттенюатора 6 дБ говорит о том, что амплитуда сигнала в два раза от­личается от нулевого уровня. В дефектоскопах зарубежного производства аттенюатор проградуирован в отрицательных децибелах, то есть численная величина отсчета в децибелах пропорциональна вводимому с помощью аттенюатора коэффициенту усиления. Это означает, что максимальному сигналу соответствует минимальный отсчет в децибелах. Во многих типах приборов стран СНГ аттенюатор проградуирован в положительных децибе­лах, то есть большему сигналу соответствует большее значение численного отсчета в децибелах.

Требуемый диапазон измерения - от 0 до (60 - 110) дБ. Измерение произ­водят с шагом 1 дБ или менее (в некоторых приборах - 0,5 дБ и даже 0,1 дБ). В качестве регулировки используются переключатели барабанного или кнопоч­ного типа. В некоторых дефектоскопах существует режим автоматического из­мерения отношения амплитуд для любого импульса, имеющегося на экране.

Различают два основных типа усилителей высокой частоты: линейный и логарифмический. В усилителе с линейной характеристикой индика­ция амплитуды эхо-сигнала на экра­не должна быть максимально про­порциональна напряжению на пьезоэлементе, создаваемому принятым ультразвуковым сигналом. Однако точное соблюдение этого требования возможно лишь в ограниченном диапазоне (Рис. 2.3).

В логарифмическом усилителе амплитуда эхо-импульса должна быть пропорциональна логарифму напряжения на пьезоэлементе ПЭП. Поскольку амплитуды эхо-сигналов даются только в децибелах, которые являются логарифмической единицей, то логарифмический усилитель представляет собой выгодный пропорциональный «дБ-усилитель». Преимущество логарифмического усилителя в том, что он обладает динамическим диапазоном (отношением самого боль­шого к самому маленькому сигналу, который виден на дисплее с четкой сту­пенчатостью) любого размера.

|  |
| --- |
|  |
| Рис. 2.3. Зависимость высоты эхо-импуль­са от входного напряжения: а - линейное усиление; б - логарифмическое усиление; в - пороговое усиление |

Если усилитель с линейной характеристикой обладает в лучшем случае динамическим диапазоном 34 дБ, то логарифмический усилитель - 100 дБ, так как в этом типе усилителя уже нет «перевозбуждения» при воздействии слишком больших сигналов.

Усилитель может быть широкополосным, то есть обрабатывать все воз­можные частоты, например, от 1 до 10 МГц, благодаря чему не надо пере­ключать его при изменении частоты ПЭП. Однако усилитель с узкой поло­сой пропускания частот обладает большими возможностями для усиления, так как он имеет более низкий уровень собственных шумов.

Кроме того, гармонические составляющие высших порядков представ­лены в полосе частот эхо-сигналов намного сильнее, чем в передаваемой звуковой волне, а именно, когда их причиной являются мелкие дефекты, рассеивающие в основном более высокие частоты. Тогда возникают участки нежелательного шума, что затрудняет выявление более крупных дефектов. Если полосу частот в усилителе срезать, например, перед третьей гармони­кой (для 1 МГц - ниже 3 МГц), картина прояснится.

Недостатком слишком узкой полосы частот будет расширение импуль­сов и, тем самым, потеря разрешающей способности. Правильный выбор является компромиссом между противоречивыми требованиями в соответствии с практическим опытом.

Усиленные высокочастотные сигналы поступают к **детектору** (Д), на нагрузке которого выделяются однополярные огибающие радиоим­пульсов. Применяются следующие типы детектирования: полное (двухполупериодное), по положительной полуволне и по от­рицательной полуволне. Детектированные сигналы поступают на импульсный видео­усилитель (ИВУ) с коэффициентом усиле­ния 20 - 30 дБ, который усиливает видео­импульсы до напряжения, необходимого для срабатывания дисплея. Во многих дефектоско­пах предусмотрена возможность наблюдения радиоимпульсной формы сигналов (недетектированные сигналы).

|  |
| --- |
|  |
| Рис. 5.4. Форма импульсов на дисплее: высокочастотных (недетектированных, радиоимпульсов) и видео (детектированных) сигналов |

**Регулятор отсечки** (О) изменяет потенциал порогового уровня отпира­ния детектора. Усилитель работает в режиме порогового усиления. Благодаря этому отсекаются все импульсы, амплитуда которых меньше вы­бранной величины. Применение некомпенсированной отсечки искажает реальное соотношение амплитуд детектированных сигналов и сужает дина­мический диапазон прибора. В связи с этим разработана система так назы­ваемой компенсированной отсечки, которая удаляет сигналы с амплиту­дой ниже порога отсечки и оставляет неизменными сигналы, превышающие по амплитуде этот порог. Подобная схема позволяет оценивать амплитуды отраженных сигналов по экрану дисплея даже при включении отсечки.

**Дисплей** - это устройство в виде плоского экрана, предназначенное для отображения видео- и буквенно-цифро­вой информации. Дисплей представляет собой прямоугольное поле, на котором размещено т горизонтальных строк, со­держащих по n элементов (Рис. 2.5). В дальнейшем тексте термины «дисплей» и «экран» имеют одинаковый смысл.

|  |
| --- |
|  |
| Рис. 2.5. Расположение индикаторов в матрице дисплея |

Каждый элемент представляет собой миниатюрный источник света - индикатор, который изменяет свое состояние в зависимости от поступаю­щего на него сигнала. По принципу действия различают жидкокристаллические (ЖКИ), электролюминесцентные (ЭЛИ) и другие индикаторы. Недостатком ЭЛИ следует считать потерю контрастности изображения под воздействием ярких источников света. В частности, такая пробле­ма возникает при работе на открытом воздухе при солнечном освещении. Недостатками ЖКИ могут быть потеря контрастности при изменении угла наблюдения (например, если смотреть на экран сбоку) и, для некоторых ти­пов ЖКИ, потеря работоспособности при отрицательных температурах.

В зависимости от видов состояний индикаторов дисплеи могут быть двухцветные (инди­катор горит - не горит) или многоцветные (индикатор горит одним из возможных цветов или не горит). Когда загораются следующие друг за другом элементы, расположенные на прямой линии, то на дисплее наблюдаются непрерывные светящиеся линии, например - линия гори­зонтальной развертки, линия строба, пересекающиеся линии, образующие таблицы и т. д. Если загораются следующие друг за другом элементы, расположенные на кривой линии, то на дис­плее видны непрерывные кривые линии, в частности - изображение импульсов, поступивших от усилителя. Если загораются совокупности элементов, расположенных рядом на некоторой площади, то на дисплее формируется изображение букв, цифр, символов, дефектограмм и т. д.

При проведении контроля эхо-импульсным методом ультразвук прохо­дит в контролируемом материале путь от поверхности ввода (ПВ) до про­тивоположной поверхности (Д), обычно называемой донной (Рис. 2.6). На каждой границе раздела (поверхность несплошности, донная поверхность и т. д.) происходят все связанные с ней явления, в том числе - отражение.

Промежуток времени tз между запуском зондирующего импульса и нача­лом развертки называется длительностью задержки развертки. Время tр, в течение которого отображаемая точка перемещается от начала до конца развертки, называется длительностью развертки. Время tп между окончанием развертки и началом следующей развертки называется паузой развертки. В течение паузы на дисплее микропроцессорного дефектоскопа сохраняется состояние, которое элементы (индикаторы) получили в про­цессе развертки. Время Тр, в течение которого происходит один полный цикл развертки, называется периодом развертки.

Длительность развертки прямо пропорциональна диапа­зону контроля и обратно про­порциональна установленной скорости звука (Рис 2.7).

|  |
| --- |
|  |
| Рис. 2.6. График перемещения отображаемой точки на экране дисплея: t - время, х - положение отображаемой точки (или ее проекции) на гори­зонтальной оси дисплея |
|  |
| Рис. 5.7. Развертки для: а — различных диапа­зонов контроля при одинаковой скорости звука в материале; б – различной скорости звука в материале при одинаковом диапазоне контроля |

При переключении диапа­зонов контроля по расстоянию происходит дискретное измене­ние длительности развертки. В пределах одного диапазона, как правило, длительность разверт­ки можно регулировать плавно. Изменяя длительность задерж­ки развертки t и длительность развертки tр, можно отобразить на экране дисплея желаемый участок зоны контроля в увели­ченном масштабе. Такое изобра­жение иногда называют «элект­ронной лупой» (Рис. 2.8). Начало каждого цикла раз­вертки синхронизировано (сов­падает по времени или смещено на постоянное время задержки развертки tз) с запуском зондирующего импульса.

|  |
| --- |
|  |
| Рис. 2.8. Отображение на экране участка от r1 до r2 - «электрон­ная лупа»: Н - несплошность |

Если колебания в изделии не успевают затухнуть за пе­риод следования зондирующих импульсов, то на экране дисплея существу­ют эхо-импульсы как от последней посылки, так и от предыдущей. Наличие многократных переотражений ультразвукового импульса в некотором объ­еме называется реверберацией. Поскольку время прихода эхо-импульсов от предыдущей посылки не синхронизировано с рабочим ходом последней посылки, эти сигналы могут попасть в случайное место зоны контроля и будут восприняты как эхо-импульсы от дефектов. Поэтому **такие эхо-сиг­налы называют импульсами помех, ложными импульсами или фантомами**. На рис. 2.9 показан пример фантомов, образованных незатухшими донны­ми сигналами, попавшими в зону контроля от предыдущей посылки. Если плавно изменить частоту (период) следования зондирующих импульсов, то, как видно из рис. 2.9 импульсы помех изменят свое положение на эк­ране дефектоскопа («дефект» изменил глубину!). По этому признаку фан­томы отличают от эхо-импульсов реальных несплошностей. Очевидно, что уменьшить количество фантомов или избавиться от них полностью можно, увеличив период следования зондирующих импульсов (уменьшив частоту следования), если дефектоскоп имеет соответствующие регулировки.

|  |
| --- |
|  |
| Рис. 2.9. Возникновение импульсов помех (фантомов) вследствие реверберации: 31,32 - зондирующие импульсы первой и второй посылок; Д1, Д2 - многократные донные эхо-импульсы от первой и второй посылок; U - амплитуда импульса; Д21, Д22 - фантомы (на график условно нанесены границы экрана) |

### 2.3. Виды разверток (сканов)

**Процесс озвучивания контролируемого объема называется сканиро­ванием.** Синхронно с пробегом ультразвукового импульса на экран дисплея выво­дится информация об озвучиваемом (сканируемом) объеме ОК. В связи с этим **отображение информации, получаемой в процессе контроля, на экра­не по установленному закону называется разверткой или сканом**. В зависимости от этого закона различают следующие виды разверток (сканов).

Развертка, на которой высота отображаемого импульса пропорци­ональна амплитуде принятого сигнала, а его положение на горизон­тальной линии пропорционально времени прохождения ультразву­ковым импульсом акустического тракта, называется разверткой типа А или А-сканом (Рис. 2.10).

|  |
| --- |
|  |
| Рис. 2.10. Развертка типа А при эхо-импульсном методе контро­ля: ПВ - поверхность ввода колебаний в ОК; Н - несплошность; |

Д - донная поверхность ОК; Э - экран; ГОР - горизонтальная ось развертки; 3 - зондирующий импульс; НС - эхо-сигнал от несплошности; ДС - эхо-сигнал от донной поверхности (донный сигнал); 0 - точка на горизонтальной оси развертки, соответству­ющая моменту ввода колебаний в ОК.

**Развертка, на которой принимаемые сигналы отображаются в не­котором масштабе в виде точек на поперечном сечении ОК, перпен­дикулярном поверхности сканирования и параллельном направлению прозвучивания (акустической оси звукового пучка), называется раз­верткой типа В или В-сканом** (Рис. 2.11).

|  |
| --- |
|  |
| Рис. 2.11. Развертка типа В при контроле прямым (а) и наклон­ным (б) ПЭП: 1,2,3 - несплошности и их изображение на экра­не; 3 - изображение зондирующего импульса; ДС – изображение донного сигнала |

Различная амплитуда сигналов на развертке типа В отображается точ­ками различной яркости или различного цвета.

**Развертка, на которой в некотором масштабе отображается про­екция контролируемого объема ОК на поверхность сканирования, на­зывается разверткой типа С или С-сканом** (Рис. 2.12).

|  |
| --- |
|  |
| Рис. 2.12. Развертка типа С: а - ОК (А - вид на поверхность сканиро­вания); б - изображение развертки типа С на дисплее дефектоскопа |

Так же, как и на развертке типа В, различная амплитуда сигналов на развертке типа С может быть отображена точками различной яркости или различного цвета.

**Развертка, на которой принимаемые сигналы отображаются в неко­тором масштабе в виде точек на продольном сечении О К, перпенди­кулярном поверхности сканирования и перпендикулярном направле­нию прозвучивания (акустической оси звукового пучка), называется разверткой типа D или D-сканом.** На рис. 2.13 это сечение показано как плоскость АВСО. Различная амплитуда сигналов на развертке типа О отображается точками различной яркости или различного цвета.

|  |
| --- |
|  |
| Рис. 2.13. Развертка типа D: а - ОК; б - изображение развертки типа D на дисплее дефектоскопа |

При контроле сварных соединений В-разверткой обычно называют по­перечное сечение сварного шва, а D-разверткой - его продольное сечение. Развертки типов В, С, D обычно применяются при механизированном или автоматизированном контроле.

При использовании развертки типа D положение х отображаемой точки на горизонтальной оси (или ее проекции на горизонтальную ось) экрана за время одного цикла изменяется от крайнего левого до крайнего правого (соответственно начало и конец развертки, рис. 5.10).

### 2.4. Особенности аналоговых дефектоскопов

Функциональная схема дефектоскопа прошлого поколения (не исполь­зовавшего микропроцессорную технику, например УД2-12) содержала также такие важные для дефектоскопии блоки, как блок автоматической сигнализации дефек­тов (АСД), блок временной регулировки чувствительности (ВРЧ), блок цифрового отсчета (БЦО). В современном микропроцессорном дефектоскопе задачи этих блоков решаются в центральном процессоре (ЦП) программным путем.

Система автоматической сигнализации дефектов (АСД) предназначена для автоматического выделения в зоне контроля импульса, амплитуда ко­торого вышла за установленные пределы, и для автоматической сигнализа­ции о наличии такого импульса (звуковой, световой, записью на регистри­рующем устройстве и т. д.). При ручном контроле АСД позволяет повысить надежность выявления дефектов и облегчает работу дефектоскописта.

Система АСД создает вспомогательные стробы (метки), местоположе­ние и ширина которых определяют зону регистрации принятых сигналов (зону АСД). Положения всех сигналов, поступивших с выхода приемно-усилительного тракта, сравниваются с положением зоны АСД. Сигнализатор системы АСД срабатывает, если в зоне АСД появляется импульс, амплитуда которого превышает установленный уровень (при контроле эхо-методом) или уменьшается ниже установленного уровня (при ЗТМ), называемого порогом срабатывания АСД. При этом блок измерений выводит на экран измеряемые характеристики сигнала. Если при контроле эхо-методом в зоне АСД одновременно присутствуют несколько импульсов, превысивших установленный предел, выбор импульса для измерений производится либо «по фронту» (крайний левый импульс в зоне АСД, превысивший установ­ленный порог), либо по «пику» (импульс в зоне АСД, имеющий максималь­ную амплитуду).

АСД позволяет решать несколько задач. Во-первых, выбирая нужным образом начало и длительность стробирующей метки (далее - строба), можно установить требуемую зону контроля. Например, располагая начало строба после зондирующего импульса или начального сигнала, а конец - пе­ред донным сигналом, можно исключить эти сигналы из зоны контроля. Во-вторых, установив строб так, чтобы в него попадал только донный сигнал, можно по амплитуде этого сигнала следить за стабильностью акустическо­го контакта, общей исправностью работы аппаратуры, а также автоматичес­ки подстраивать чувствительность. Наконец, применение стробирующего устройства позволяет повысить общую помехоустойчивость дефектоскопа, поскольку импульсные помехи любого типа могут воздействовать на инди­катор лишь в пределах действия стробирующей метки.

Используя временную регулировку чувствительности (ВРЧ) решают следующие задачи:

* получение одинаковых по амплитуде индикаций от одинаковых отража­телей, расположенных на разных расстояниях;
* обеспечение разной чувствительности в разных по расстоянию зонах ОК;
* уменьшение амплитуды донного сигнала с целью оптимизации контроля зеркально-теневым методом;
* снижение уровня шумов в начале развертки и достижение минимальной мертвой зоны для данного ПЭП.

При настройке ВРЧ сначала в память дефектоскопа по правилам, оп­ределенным инструкцией по эксплуатации данного типа прибора, вводят эхо-сигналы от отражателей, по которым производят настройку ВРЧ. Затем по программе, заложенной в дефектоскоп, прибор выравнивает чувствительность в интервале расстояний от самого ближнего до самого дальнего отражателя. Для облегчения настройки и большей наглядности в современных дефектоскопах кривая, показывающая закон изменения ВРЧ, может быть выведена на дисплей.

В старых модификациях дефектоскопов в качестве дисплея применялись электронно-лучевые трубки (ЭЛТ), принцип действия которых состоял в управлении направленным пучком электронов. Электронно-лучевая пушка, расположенная в задней части трубки излучает пучок электронов, которые, попадая на люминофор экрана вызывают его свечение. Для управления пучком электронов в трубке предусмотрены т.н. горизонтальные и вертикальные отклоняющие пластины. Подавая на пластины определенную разность потенциалов возможно отклонять пучок электронов в сторону положительно заряженной пластины. При этом на горизонтальные отклоняющие пластины подавалось пилообразное напряжение от **генератора развертки**, а на вертикальные отклоняющие пластины – усиленный и детектированный сигнал с приемного ПЭП, прошедший приемно-усилительный тракт.

Блок измерений предназначен для измерения координат выявленных отражателей и амплитуд эхо-импульсов от этих отражателей. На плоской поверхности ввода колебаний координаты расположения отражателя вы­числяются по измеренному времени t распространения колебаний от излу­чателя (пьезоэлемента) до отражателя и обратно при известных значениях скорости с волны, времени задержки в призме 2Тп и угла ввода  по простым тригонометрическим соотношениям.

Время задержки в призме, которое является параметром преобразо­вателя, вводится регулировкой «Задержка нуля». Настройка дефектоскопа на соответствующие значения глубины и расстояния производится с помощью регулиров­ки «Скорость звука».

Во всех дефектоскопах амплитуда импульса может быть оха­рактеризована:

* эквивалентной площадью несплошности Sэ, мм2;
* отношением высоты импульса к полной высоте экрана, %;
* отношением высоты импульса к уровню установленного порога АСД, дБ;
* отношением высоты импульса к установленному опорному уровню, дБ.

Способы возбуждения ультразвуковых колебаний

Наибольшее распространение получил способ, основанный на явлении **пьезоэлектрического эффекта**. В 1880 г. французские ученые братья Пьер и Жак Кюри заметили, что деформация пластинки кварца вызывает появле­ние на ее гранях электрических зарядов. Если на пластинку кварца нанести электроды и с помощью проводников подсоединить их к чувствительному прибору, то окажется, что при сжатии пластинки возникает электрическое напряжение. При растяжении пластинки также получается напряжение, причем той же величины, но противоположного знака.

**Явление возникновения электрических зарядов на поверхностях пластинки при ее деформации называется прямым пьезоэлектрическим эффектом.**

**Явление изменения размеров пластинки под действием электрического поля называется обратным пьезоэлектрическим эффектом.**

На рис. 5.16 схематически показано строение элементарной ячейки кристалла кварца SiO2. Знаком «плюс» обозначены атомы кремния с зарядом + 4, «минус» - группы из двух атомов кислорода с зарядом - 4. Ячейка не деформиро­вана и является электрически нейтральной. Заряд атома 1 компенсируется зарядами групп 2 и 6, расположенных от плоскости А дальше, чем атом 1.

При сжатии пластины отрицательные группы 2 и 6 выдвигаются к плоскости А, и на этой поверхности появляется избыточный отрицатель­ный заряд. У поверхнос­ти Б по такой же причине возникнет избыточный по­ложительный заряд. При изменении направления деформации полярность заряда поверх­ностей А и Б меняется на противоположную.

Пьезоэффект является свойством кристаллов и связан с наличием од­ной или многих осей. Естественный кристалл кварца представляет собой весьма стабильный материал, как с химической, так и с физической точки зрения, и имеет высокую степень твердости. Кристалл кварца имеет форму шестигранной призмы, оканчивающейся пирамидоподобными сужениями на концах (рис. 5.17). Если провести линию, параллельную граням призмы, то эта линия определит оптическую ось кристалла (ось Z). Электрическая ось определяется линией, соединяющей противоположные углы шести­гранной призмы - ось х, поэтому имеется три оси х в каждом естественном кристалле кварца (рис. 5.18). Ось у направлена перпендикулярно к каждой площадке призмы, этих осей в кристалле также три. Оси х и у перпендику­лярны оси z.

Пьезоэффект наблюдается лучше всего в случае, когда пластинки выре­заны в плоскости, параллельной оси z и одной из осей у и перпендикулярны оси х. Такую пластинку называют х-срезом. Если пластинку, вырезанную та­ким способом, деформировать в на­правлении оси х, то на ее поверхнос­ти возникнут электрические заряды. Если пластину поместить в перемен­ное электрическое поле, направленное вдоль оси Х то пластина будет совершать толщинные колебания (рис. 2.14)

|  |  |
| --- | --- |
|  | |
| РИС. 2.14. Пьезоэлектрический эффект: а - пластина свободна; б - пластина сжата;  в - пластина растянута | |
|  |  |
| РИС. 2.15 Кристалл кварца | 5.16. Изготовление пластины Х-среза |
|  | |
| РИС. 2.17. Колебания пьезоэлектрической пластинки в переменном электрическом поле: а - х-срез; б - у-срез | |

В некоторых случаях изготавливают пластины Y-среза, то есть такие, которые вырезаны перпендикулярно оси Y и параллельно осям х и z. При помещении такой пластинки в переменное электрическое поле она будет совершать поперечные колебания (рис. 2.17). Пластинки Х-среза служат для возбуждения продольных, а Y-среза – поперечных волн.

Пластинки для преобразователей выполняют толщиной в половину длины волны в пьезоматериале.

**Термоакустический эффект**. Известно, что если нагреть поверхност­ный участок какого-либо тела, то другие участки этого тела приобре­тут повышенную температуру не сразу, а лишь спустя некоторое время. Неравномерное распределение температуры приводит к неравномерному тепловому расширению тела, к появлению термомеханических напряже­ний. Поскольку эти напряжения изменяются во времени, то в результате возникают акустические волны, формируемые слоем с изменяющейся тем­пературой. В этом и заключается суть термоакустического эффекта.

Нагрев может осуществляться бесконтактно (индукционный нагрев) и даже дистанционно (нагрев лучом лазера), что дает возможность для бес­контактного возбуждения акустических колебаний в объекте контроля.

**Электромагнитно-акустические (ЭМА)** методы возбуждения и при­ема ультразвуковых колебаний основаны на явлениях магнитострикции, магнитного и электродинамического взаимодействия.

Магнитострикцией называется явление изменения геометрических размеров ферромагнитных материалов под воздействием изменяю­щегося внешнего магнитного поля. Обратный эффект называется магнитоупругостью.

|  |
| --- |
|  |
| РИС. 2.18. Схема простейшего ЭМА-преобразователя: 1 - магнит; 2 - катушка с переменным током; 3 - изделие |

Бесконтактное возбуждение и прием ультразвуковых колебаний осуществляется за счет магнитострикционного и магнитоупругого эф­фектов, наблюдаемых непосредствен­но в контролируемом изделии. Схема ЭМА-преобразователя (ЭМАП) изображена на рис. 2.18. Магнитное взаимодействие заключается во взаимном притяжении и отталкива­нии ферромагнитного материала и проводника (катушки) с переменным электрическим током. Например, под действием постоянного магнитного поля изделие намагнитится. Катушка с переменным током будет притягиваться и отталкиваться от него в зависи­мости от направления образовавшегося в ней магнитного поля. Притяжение и отталкивание катушки будет оказывать обратное механическое воздейст­вие на изделие, что приведет к возбуждению упругих колебаний на его по­верхности. Возникающие при этом силы будут поверхностными, поскольку магнитный полюс образуется на поверхности изделия. Прием упругих коле­баний будет происходить в результате того, что поверхность изделия будет приближаться и удаляться от катушки, изменяя в ней магнитное поле, что в свою очередь приведет к возникновению электрического тока в катушке.

Электродинамическое взаимодействие состоит в возбуждении в токопроводящем материале вихревых токов, которые взаимодействуют с пос­тоянным магнитным полем и вызывают колебания «электронного газа», а это, в свою очередь, приводит к возбуждению колебаний атомов, т. е. крис­таллической решетки материала. Например, вихревые токи (рис. 5.20), ин­дуцируемые в изделии катушкой 2 с переменным током, будут направлены перпендикулярно плоскости чертежа (отмечены точками), а силы их взаи­модействия с магнитным полем - параллельно поверхности изделия. В ре­зультате в изделии возбудится поперечная волна. Поскольку вихревые токи распределены в слое конечной толщины, возникающие упругие силы будут носить объемный характер, но вследствие скин-эффекта они будут концен­трироваться в узком подповерхностном слое. Обратный эффект состоит в возбуждении вихревых токов в металле, колеблющемся в постоянном поле под действием упругих волн. Эти вихревые токи индуцируют переменный ток в катушке 2, которая в данном случае служит приемником.

Эффекты магнитострикции и магнитного взаимодействия позволяют возбуждать продольные ультразвуковые волны как в ферромагнитных ме­таллах, так и в магнитодиэлектриках. При определенной взаимной ориента­ции поля подмагничивания и переменного поля эффект магнитострикции может обеспечить возбуждение поперечных волн. Электродинамический эффект обуславливает возбуждение волн разных типов в любых токопроводящих материалах. В ферромагнитных металлах, например в железе, на­блюдаются одновременно все три эффекта, поэтому работу ЭМАП, исполь­зующих все три эффекта, рассматривают в целом. Благодаря указанным особенностям ЭМАП позволяют возбуждать в объекте контроля волны практически любых типов, в том числе и такие, которые невозможно со­здать ПЭП, например, поперечные волны SH-поляризации.

При использовании ЭМАП не требуется применение контактной жид­кости, поэтому при таком способе легче автоматизировать процесс кон­троля. Недостатками способа долгое время считались большие габариты ЭМАП и меньшая чувствительность, чем при использовании ПЭП. Однако в последние годы благодаря применению метода когерентного накопления полезного сигнала ЭМА-средства контроля практически достигли чувстви­тельности методов с использованием ПЭП. Благодаря этому и указанным ранее особенностям область применения ЭМА-метода существенно расши­рилась.

# Глава 3. КОНСТРУКТИВНО – ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

### 3.1. ЛАЗЕРНО-УЛЬТРАЗВУКОВОЙ МЕТОД

Результаты, полученные при помощи лазерно-ультразвуковой структуроскопии, докладывались на международных конференциях, опубликованы в ведущих научных журналах.

В настоящее время данная методика активно внедряется в отраслевых институтах авиа- космической промышленности, идут работы по адаптации оптоакустических приборов медицинской диагностики к нуждам потребителей.

**Исследования лазерно-индуцированных фазовых переходов на импедансной границе металлов. Оптимизации условий лазерной обработки металлов.**

Исследование высокоэнергетических состояний и фазовых переходов первого рода индуцированных лазерным излучением представляет большой интерес как с точки зрения получения информации о поведении и свойствах вещества в широком диапазоне температур и давлений, так и для прикладных приложений, в том числе наноструктурирования поверхностей материалов и получения наночастиц, изготовление которых другими способами невозможно (карбиды, нитриды металлов).

Важной фундаментальной задачей является определение критических параметров металлов – экспериментальные данные имеются лишь для ртути и щелочных металлов. По теоретическим оценкам критические температуры и давления большинства металлов по порядку величины составляют 104 К и 104 атм соответственно, что делает невозможным их определение в статических условиях. Этот диапазон режимных параметров соответствует сильно вырожденным состояниям вещества, для которых экспериментальные данные, например по оптическим свойствам, практически отсутствуют.

Поглощение лазерного излучения металлом приводит к значительному нагреву и росту давления в его приповерхностном слое. Для получения околокритических состояний металлов было предложно использовать лазерное облучение импедансной границы, в этом случае металл покрывается слоем прозрачного диэлектрика (например оптического стекла) акустический импеданс которого сравним с акустическим импедансом металла. Использование указанной методики позволяет более чем на два порядка повысить эффективность процесса генерации давления по сравнению со случаем облучения свободной поверхности [2]. При этом появляется возможность получения околокритических состояний металлов на установке настольного типа с энергией в импульсе ~ 1 Дж. Дополнительным преимуществом импедансной границы является предотвращение прозрачным диэлектриком процесса образования плазменного факела у поверхности металла, что дает возможность определения ее температуры по тепловому излучению.

Эффективность индуцирования высокого динамического уровня давления, а следовательно и достижения высокоэнергетических состояний вещества, при импульсном лазерном нагреве определяется соотношением скорости ввода энергии лазерного излучения и скоростью релаксации – разгрузки или сброса давления, которая определяется скоростью звука в среде, поглощающей излучение.

Длительность лазерного импульса должна быть оптимизирована. Проведенные оценки, подтвержденные экспериментально, показывают, что наносекундный диапазон лазерного воздействия на металл является оптимальным, при этом, на установке настольного типа, легко реализуются сверхкритические состояния обрабатываемого материала с высоким уровнем термодинамических параметров: давления Р ~ 1 ГПа и температур Т ~ 104 К и выше. Использование более коротких – пикосекундных лазерных импульсов приводит к нарушению локального термодинамического равновесия, и в этом случае, понятия давления и температуры в их термодинамическом смысле становятся неприменимы. При длинных – миллисекундных импульсах процесс разгрузки становится определяющим, что не позволяет получить высокий уровень динамических давлений.

Для экспериментального исследования лазерно-индуцированных фазовых переходов на импедансной границе металла была создана экспериментальная установка (Рис. 3.1) позволяющая проводить одновременные измерения давления, температуры и отражательной способности поверхности металла с наносекундным временным разрешением.

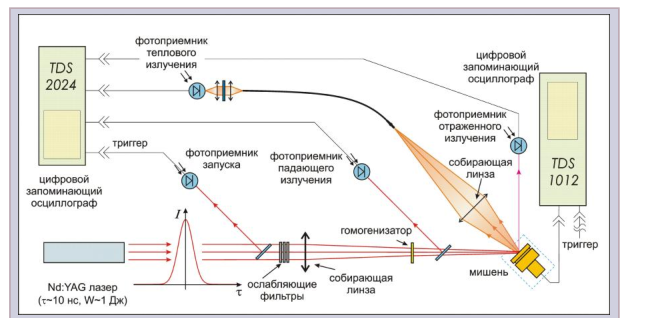


Рис. 3.1 Схема экспериментальной установки

В работе использовался импульсный Nd:YAG лазер (длительность импульса ~ 10 нс, энергия в импульсе ~ 1 Дж). В качестве тестовых

металлов были использованы свинец и ртуть. Давление на поверхности металла определялось путем регистрации уходящей вглубь образца

акустической волны при помощи пьезоприемника на основе ниобата лития. Падающее, отраженное лазерное излучение регистрировались кремниевыми PIN – диодами с временным разрешением не хуже 1 нс. По указанным данным определялась динамика изменения отражательной способности поверхности на длине волны лазерного излучения. Температура определялась при помощи оптического пирометра с наносекундным временным разрешением. На Рис. 3.2 представлены результаты измерения давления на поверхности ртутной мишени (нормированные импульсы давления (а) иабсолютные значения (б)). Теоретически показано [3], что при малых плотностях энергии падающего излучения импульс давленияповторяет временную форму лазерного импульса. С увеличением плотности энергии наблюдается значительное уширение сигналов, связанное с началом фазового перехода на поверхности образца (кипение – в случае ртути и плавление в случае свинца). По данным одавлении и температуре (Рис. 3.3) на поверхности мишени была построена диаграмма лазерного нагрева ртути в координатах давление-температура (Рис. 13.4, кривые 3, 5). В ходе экспериментов, как в случае свинца, так и в случае ртути наблюдалось значительное падение отражательной способности поверхности – более чем в 5 раз относительно первоначального значения (Рис. 3.5).

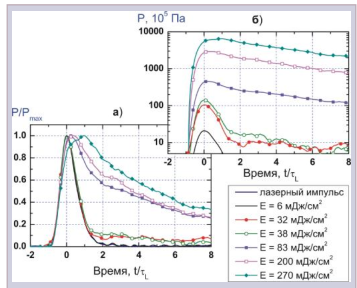


Рис. 3.2 Временные зависимости давления на поверхности ртутной мишени.

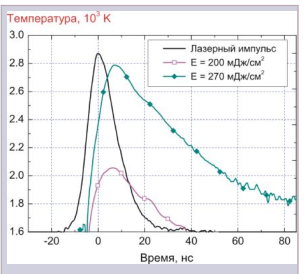


Рис. 1.3 Временные зависимости температуры на поверхностиртутной мишени

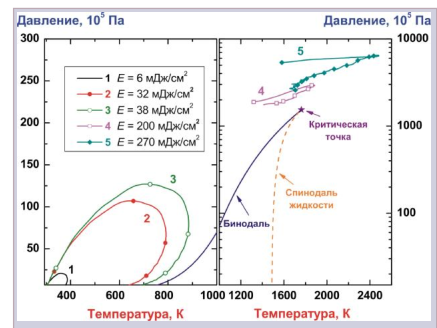


Рис. 1.4 Кривая процесса лазерного нагрева ртути в координатах давление-температура (P-T)

### 3.2 ОПТИКО-АКУСТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ БИООБЪЕКТОВ

Знание параметров поглощения света в кровесодержащих тканях актуально для лазерной медицины, интеллектуальных систем лазерной хирургии и т.д. Поэтому знание оптических параметров крови (таких как коэффициенты поглощения и рассеяния света на различных длинах волн лазерного излучения) становится критичным в таких областях лазерной медицины как оптическая томография, фотодинамическая терапия, лазерно-индуцированная термотерапия, терапия пигментированных образований и т.д. Исследования коэффициента затухания света в образцах крови проводились методом лазерной оптико-акустической спектроскопии. Данный метод особенно перспективен для исследования сильно рассеивающих и поглощающих сред. Суть метода лазерной оптико- акустической спектроскопии основан на оптико-акустическом эффекте: лазерный импульс, поглощаясь в исследуемой среде, приводит к возбуждению акустических сигналов. Профиль возбуждаемых акустических сигналов определяется оптическими параметрами среды [1]. Регистрация профиля акустических сигналов при помощи широкополосного пьезо- приемника с высоким временным разрешением позволяет получить информацию об оптических свойствах исследуемой среды. Были проведены измерения коэффициента затухания света цельной (неразбавленной крови) для длин волн лазерного излучения 532, 757 и 1064 нм. Поскольку коэффициент затухания света в крови зависит от полного содержание гемоглобина и процента присоединенного к гемоглобину кислорода, то появляется возможность оценки этих параметров методом оптико-акустической спектроскопии. В лазерной оптоакустической спектроскопии (ЛОАС) лазерные импульсы используются для возбуждения широкополосных акустических сигналов в исследуемой среде. Регистрации профиля возбуждаемых таким образом оптоакустических сигналов (ОА-сигналов) с высоким временным разрешением позволяет получать информацию об оптических свойствах исследуемой среды. Особенно перспективно применение ЛОАС для исследования сильно рассеивающих биотканей. По регистрируемому ОА-сигналу могут быть определены коэффициент поглощения, затухания и приведенный коэффициент рассеяния света [1-4]. При использовании нескольких длин волн пробного излучения, возможно получение спектров оптических коэффициентов. Основной схемой регистрации возбуждаемых ОА-сигналов, применяемой в ЛОАС, является регистрация в режиме «на просвет». При этом возбуждение ОА-сигналов и их регистрация проводятся на противоположных поверхностях среды.

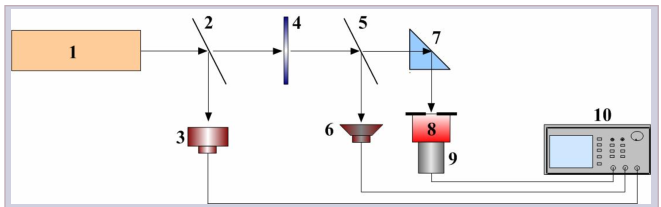


Рис. 3.2.1 Схема лазерной оптико-акустической спектроскопии. 1 - лазер; 2 - делительная пластина; 3 – фотодиод; 4 –гомогенизатор; 5 - делительная

пластина; 6 - измеритель плотности лазерной энергии; 7 - стеклянная поворотная призма; 8 – кювета с исследуемым раствором; 9 - оптико-акустическая ячейка; 10 – осциллограф. В лазерной оптико-акустической спектроскопии лазерной излучение от ND:YAG лазера с модуляцией добротности 1 направляются на делительную пластину 2 и частично (~ 8%) отводятся на фотодиод 3. Сигнал с фотодиода используется для контроля формы лазерного импульса и синхронизации работы системы. Излучение, прошедшее пластину 2, далее проходит через гомогенизирующую пластину 4, которая используется для создания гладкого гауссовского поперечного распределения интенсивности в лазерном пятне. Далее часть излучения (~ 8%) отводится делительной пластиной 5 на измеритель энергии 6, снабженной калиброванной диафрагмой, что позволяет контролировать плотность энергии лазерного излучения в каждом импульсе. При помощи поворотной призмы 7 лазерное излучение направляется на кювету с исследуемым раствором 8. Возбуждаемый оптико-акустический сигнал регистрируется оптико-акустической ячейкой 9. Электрический сигнал с оптико-акустической ячейки 9 подается на осциллограф 10. Далее полученный оптико-акустический сигнал обрабатывается на персональном компьютере. Импульсное излучение ND-YAG лазера на трех различных длинах волн λ=1064 nm, 532 nm и 355 nm использовалось для исследования оптических коэффициентов крови. Пример одной из полученных зависимостей приведен на рис. 2.2. При помощи данной экспериментальной установки были получены следующие результаты:

### 3.3. Основные понятия акустико-эмиссионных систем

Аппаратуру АЭ контроля по сложности разделяют на системы и приборы. Системы АЭ являются многоканальными устройствами, представляющими собой совокупность аппаратных средств, вычислительных устройств и специализированного программного обеспечения, включающие как специализированные процессоры, так и универсальные ЭВМ. [12]. Они являются программным комплексом для регистрации, обработки и анализа акустико-эмиссионных сигналов. Система построена по принципу параллельной многоканальной цифровой регистрации параметров АЭ сигналов. Каналы регистрации акустико-эмиссионных сигналов идентичны по своим техническим характеристикам и включают:

– преобразователь (датчик) АЭ сигналов;

– предварительный усилитель АЭ сигналов;

– цифровой блок регистрации и измерения параметров АЭ сигналов.

Неотъемлемой частью АЭ-системы является персональный компьютер, с помощью которого осуществляется управление компонентами системы, а также обработка, анализ и графическое отображение поступающей информации об испытуемом объекте.

Приборы АЭ подразделяются на – одноканальные, двухканальные, четырёхканальные и многоканальные. По месту использования аппаратных средств они классифицируются на лабораторные и полевые. По способу использования – подразделяются на стационарные, мобильные и переносные. По области применения – универсальные и специализированные. По классу аппаратные средства АЭ контроля разделяются на четыре класса, в соответствии с объёмом получаемой при АЭ контроле информации. [41]

Аппаратура первого класса – аппаратура, обеспечивающая выделение, обработку, представление и классификацию источников АЭ в полном соответствии с правилами АЭ контроля РД 03-131-97.[14] К этой аппаратуре относится универсальная АЭ-система.

Аппаратура второго класса – аппаратура, которая не обеспечивает выделение, обработку, представление и классификацию источников АЭ по одному или нескольким, но не более чем 25% параметров, указанных в РД. К этому классу относятся приборы АЭ широкого применения.

Аппаратура третьего класса – аппаратура, не обеспечивает выделение, обработку, представление и классификацию источников АЭ по 25–50% параметров, указанных в РД. К данному классу относятся специализированные приборы АЭ.

Аппаратура четвёртого класса – аппаратура, которая не обеспечивает выделение, обработку, представление и классификацию источников АЭ, более чем на 50% параметров. К данному классу относится узкоспециализированные приборы АЭ.

Кроме перечисленных выше систем классификации аппаратуры АЭ, она иногда разделяется на несколько условных групп в зависимости от функционального назначения и сложности выполнения. К основным группам относятся: многофункциональные приборы лабораторного и производственного применения, системы АЭ контроля.

### 3.4. Принцип работы акустико-эмиссионной системы

Регистрация параметров АЭ сигналов активных источников начинается с преобразования акустических сигналов в электрические, посредством пьезоэлектрического преобразователя. Сигналы акустической эмиссии, преобразованные датчиками АЭ и усиленные предварительными усилителями, поступают на соответствующие входы цифровых каналов регистрации акустической эмиссии. После соответствующего согласования параметров полученного сигнала в аналоговом блоке (согласующий усилитель и фильтр нижних частот) с входными параметрами аналого-цифрового преобразователя (АЦП) производится преобразование сигнала в цифровую форму с частотой дискретизации 10 МГц. Полученные данные уже в цифровой форме поступают в специальный блок обработки события, где происходит непрерывное сравнение абсолютного значения поступающего сигнала со значением порога дискриминации, который задаётся оператором и хранится в этом же блоке. Как только текущее значение абсолютной величины сигнала превысит предустановленный порог дискриминации, начинается запись поступающего в цифровой форме сигнала акустической эмиссии в буферную память блока обработки события. Также в специальном таймере фиксируется время наступления события с точностью до 1 мкс. Полученные таким образом цифровые данные обрабатываются сигнальным процессором, который вычисляет параметры события:

– максимальную амплитуду АЭ сигнала;

– число импульсов;

– общую энергетическую характеристику АЭ сигнала;

– значение энергии АЭ сигнала в каждой из четырех полос частот, задаваемых оператором.

Вычислив параметры произошедшего события, сигнальный процессор формирует блок информации, характеризующий поступившее в канал событие, выставляет сигнал готовности данных для системного контроллера и ожидает считывания этих данных контроллером (в зависимости от настроек, сделанных оператором, в блок информации об АЭ-событии включается и оцифрованный сигнал). По завершении считывания блока информации системным контроллером сигнальный процессор возобновляет цикл ожидания и обработки события.

Системный контроллер является связующим звеном, обеспечивающим обмен информацией между управляющим компьютером и цифровыми каналами регистрации АЭ. Блоки информация об АЭ-событиях, регистрируемые во всех включённых каналах, передаются в компьютер по интерфейсу USB2.0 или ECP, встроенному в системный контроллер.

Управляющий компьютер во время проведения испытания объекта постоянно накапливает информацию о событиях, регистрируемых цифровыми каналами акустико-эмиссионной системы, сохраняет эту информацию на жёстком диске для последующей обработки, вычисляет координаты источников АЭ на поверхности объекта и отображает поступающую информацию на дисплее компьютера в реальном времени.

### Структурная схема работы АЭС

Принцип построения АЭ-Системы в соответствии со схемой получения информации определяет структуру аппаратуры и её параметры. АЭ-система должна содержать: преобразователи АЭ, предварительные (предусилители) и основные усилители, а также средства индификации и обработки сигналов, включая пороговые устройства, устройства выделения и измерения параметров сигналов АЭ, устройства регистрации и представления информации (блоки обработки сигналов АЭ).

Приборный блок

БОС

**1**

БОС

**18**

• • • • • •

**КОМПЬЮТЕР**

Интегральные

преобразователи АЭ

Кабельные линии

Входы

дополнит.

параметров

**Магистраль приборного блока**

БУМ

Интерфейс USB 2

Рис. 3.5.1. Структурная схема АС-системы (18 каналов)

Аппаратура имеет модульную структуру с независимым принципом организации измерительных каналов. Каждый АЭ канал содержит: акустический преобразователь, предварительный усилитель (БПУ),который может быть встроен в корпус приёмника, коаксиальную кабельную линию и блок обработки сигналов (БОС), обеспечиваю­щий дополнительное усиление и частотную фильтрацию, оцифровку и вычисление параметров АЭ сигналов. БОС осуществляют также буферизацию данных и передачу их через последовательный интерфейс.

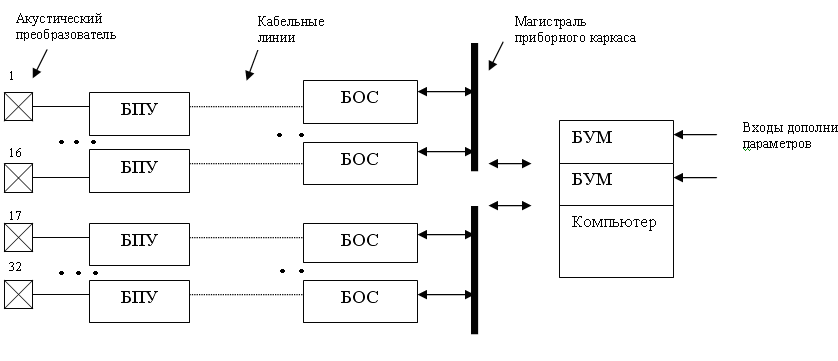


Рис. 3.5.2. Структурная схема АЭ-системы (32 канала)

Сигналы с акустических приёмников, установленных на контролируемом объек­те, поступают на расположенные вблизи от них блоки предварительного усиления (БПУ) оснащенные сменными активными полосовыми фильтрами. Усиленные сигналы передаются по кабельным линиям (длинной до 300 м) на входы блоков обработки сигналов.

На лицевых панелях установлены разъёмы аналого­вых входов и выходов, а также светодиоды индикации превышения порогового уровня.

В задней части приборных каркасов расположены блоки питания, обеспечивающие электрическое питание блоков БОС и БПУ от сети переменного тока напряжением 220В. Блоки питания выполнены по линейной схеме и составляют единое целое с задней панелью прибора. Для регистрации вспомогательных параметров (давление, температура и др.) в АЭ‑системе используется блок управления (БУМ). В БУМ расположены сигнализатор превышения сигналами пороговых уровней в АЭ каналах и световые индикаторы контроля питания (КП) и наличия тактовых импульсов (ТИ) в магистрали приборного блока.

В состав электронных блоков, входят также вспомогательные блоки, располо­женные в 8 и 16-канальных приборных каркасах – блоки индикации (БИ), и допол­нительно – блок связи (БС), расположенный только в 8-ми канальном каркасе. БИ имеет световую индикацию включения питания и индикацию тактовых импульсов последовательной магистрали каркаса, сигнализирующую о начале обмена данными между блоками БОС и блоком БУМ. Кроме того, в блоке помещён усилитель для приёма параметрических сигналов. Питание на этот усилитель подаётся с помощью отдельного выключателя расположенного на задней панели приборного каркаса или в блоке БС. Блок связи используется для альтернатив­ного подключения аппаратуры к компьютеру через его параллельный порт.

В зависимости от назначения АЭ-система оснащается компьютером в обычном или малогабаритном, промышленном или полевом исполнении.

### 3.5. Применение акустико-эмиссионных систем

Акустико-эмиссионные системы неразрушающего контроля применяются во всех опасных отраслях промышленности: в таких как Нефтегазовая и Химическая промышленность; Трубопрокатные и Металлургические предприятия; Тепловая и Атомная энергетика; Железнодорожный транспорт; Подъёмные сооружения; Мостовые конструкции; Авиационно-космическая техника; Бетонные и железобетонные сооружения.

АЭ-системы предназначены для обнаружения, локализации и регистрации источников акустической эмиссии (АЭ) с целью контроля состояния потенциально опасного оборудования, работающего под нагрузкой, в соответствии с РД-03-131-97 Ростехнадзора «Правила организации и проведения акустико-эмиссионного контроля сосудов, аппаратов, котлов и технологических трубопроводов» [14] и другими нормативными документами, регламентирующими применение АЭ метода контроля.

АЭ-система может быть использована для контроля магистральных и технологических трубопроводов, ёмкостного, колонного, реакторного, теплообменного оборудования химических, нефтехимических и нефтеперерабатывающих производств, сосудов под давлением, резервуаров нефтепродуктов, элементов оборудования энергоблоков АЭС. Типовыми объектами АЭ контроля являются также котлы, изотермические хранилища, цистерны, подъёмные краны, мосты, несущие конструкции, буровые платформы, трансформаторы, транспорт.

АЭ-система позволяет обнаруживать развивающиеся трещины, коррозию, дефекты сварки, расслоения, включения, течи в различных материалах: металлах, композитах, керамике, бетоне.

АЭ метод применяется для периодического диагностирования оборудования как в рабочем режиме, так и при испытаниях на прочность. При гидро и пнево испытаниях АЭ контроль используется для предотвращения разрушения оборудования.

# Глава 4. ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Оценка фактического состояния конструкций и их реального остаточного ресурса позволяют заблаговременно спрогнозировать наступление аварийных ситуаций и предотвратить разрушение конструкций или их простой, тем самым, высвободив значительные финансовые и материальные ресурсы. В тоже время затраты на ликвидацию последствий аварий существенно превосходят не только стоимость диагностических систем, но и стоимость самих объектов, на которых аварии происходят.

Любое повышение безопасности достигается за счёт необходимого дополнительного увеличения расходов. Возникает проблема определения оптимального уровня расходов, при котором технология и производство остаются рентабельными. Применение систем неразрушающего контроля и диагностики удорожает продукцию при выпуске и эксплуатации, однако их использование на всех стадиях изготовления, поверки и эксплуатации существенно повышает надёжность изделий и объектов, обеспечивая, в конце концов, громадный в масштабе страны экономический выигрыш.

ФГУП ВНИИОФИ принимает участие в развитии экономики России путем внедрения в технологические процессы оптико-физических методов измерений, создания новых средств измерений и эталонов. Разработки ВНИИОФИ помогают различным предприятиям промышленности развивать новые технологии и улучшать качество выпускаемой продукции.

Институт проводит работы по метрологическому обеспечению в различных секторах промышленности, таких как: авиация и космонавтика, связь, машиностроение, электроника, энергетика, химические процессы, нанотехнологии, биотехнологии, здравоохранение и производство медицинской техники, автомобильный транспорт, безопасность движения.

ФГУП ВНИИОФИ активно взаимодействует с различными областями промышленности, выполняя заказы различных предприятий по внедрению современных технологий, созданию средств измерений, оснащению метрологических служб по поддержанию технологических процессов, а так же участвует в Федеральных программах по развитию приоритетных направлений науки и техники, промышленности и технологий.

### 4.1. Оценка экономической эффективности

В ряде случаев влияние условий эксплуатации вызывает повышенную, ускоренную повреждаемость метала. Это имеет место, например, в установках, обслуживающих сахарную промышленность, в ряде химических производств. Резюмируя, можно сказать, что принципиально проведение технического диагностирования (ТД) возможно по индивидуальным программам, которые учитывают реальное состояние оборудования и анализ результатов предыдущего контроля. Такой минимизированный контроль может с высокой вероятностью обеспечивать выявление недопустимых дефектов и обеспечить качественное диагностирование.

Нет прямых оснований считать необходимым сочетать техническое освидетельствование с техническим диагностированием (ТД). Сроки диагностирования должны исходить именно из ресурса. В промежутках между процедурам ТД может проводиться контроль, необходимость которого вызвана условиями эксплуатации (например, УЗТ) или состоянием оборудования (например, изменение механических свойств, повреждаемость и т.п.). В странах Европы такой жёсткой системы, как это предусмотрено в действующих у нас НД, нет. Там диагностирование, прежде всего, связано со страхованием оборудования от технических рисков. У нас работы по ТД обычно связаны с плановыми ремонтами и потому проводятся в жёсткие сроки. В Германии, Франции, Чехии, Польше необходимость ремонтов определяют по фактическому состоянию оборудования.

На АЭС можно проводить ТД по следующей схеме: Вначале проводить анализ условий эксплуатации, повреждаемости, изучение предыдущих результатов ТД. Затем осмотр состояния изоляции, опорно-подвесной системы и т.д. Эти результаты ложатся в основу составления индивидуальных программ. То есть, по сути, составляются две рабочие программы: первичная и дополнительная (уточняющая). После выполнения работ по такой схеме проводится анализ текущего состояния металла и можно перейти к определению остаточного ресурса. В дополнение к изложенному выше, следует упомянуть о роли расчётов и на прочность при проведении технической диагностики (ТД).

### 4.2. Расчет экономической эффективности

Увеличение точности приводит к увеличению стоимости прибора а, следовательно, и к увеличению затрат. Так, например, в ранее рассмотренной схеме, (№2) применяются три генератора Г6-28, GFG-8210, Г5-54, цифровой запоминающий осциллограф TDS1012, вольтметр универсальный цифровой В7-27А и источник питания постоянного тока Б5-47, следовательно и затраты на закупку всего этого оборудования будут складываться из их закупочной стоимости. Также необходимо учесть затраты на обслуживание, такие например как ежегодная поверка.

Закупочная стоимость оборудования:

Таблица № 5.1.

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **Наименование** | **Модель** | **Цена**  **закупки руб.** | **Цена**  **поверки руб.** | **Масса**  **прибора кг.** |
| Генератор сигналов специальной формы | Г6-28 | 18 600 | 1 900 | 12,5 |
| Генератор функциональный | GFG-8210 | 23 623 | 2 200 | 2,2 |
| Генератор импульсный | Г5-54 | 15 700 | 1 980 | 6 |
| Аналоговый осциллограф | С1-65 | 14 550 | 3 200 | 16 |
| Вольтметр универсальный цифровой | В7-27А | 6 200 | 1 430 | 6 |
| Источник питания постоянного тока | Б5-47 | 5 990 | 1 200 | 9 |
| общая масса приборов = 51.7 кг.  общая закупочная цена приборов = 84 663 руб.  цена поверки всего комплекта приборов = 11 910 руб. | | | | |

\* Цены указаны с НДС, а цены на государственную поверку указаны без учета наценок за срочность и транспортировку.

Z ∑1 = Zз + Zп + Zр = 84 663 + 11910 = 96 573 руб.

Zз – затраты на закупку; Zп – затраты на поверку; Zр – затраты на ремонт.

Zз = Zз Г6-28 + ZзGFG-8210 + ZзГ5-54 + Zз TDS1012 + Z зВ7-27А + Zз Б5-47 = 18600 + 23623 + 15700 + 14550 + 6200 + 5990 = 84 663 руб.

Zп = Zп Г6-28 + ZпGFG-8210 + ZпГ5-54 + Zп TDS1012 + Z пВ7-27А + Zп Б5-47 = 1900 + 2200 + 1980 + 3200 + 1430 + 1200 = 11 910 руб.

Zр→0, т.к. ремонт осуществляется довольно редко и если его стоимость разделить на всё время работы, то это отношение будет очень близко к нулю.

Оборудование, применяемое в схемах разработанной типовой методики поверки, привело к увеличению точности, т.к. погрешность как было отмечено ранее, определятся всего лишь одним прибором. В связи с уменьшением числа звеньев уменьшилась и масса применяемого оборудования и, следовательно, поверку стало возможно проводить на выезде. Уменьшается и время, затрачиваемое на подготовительные работы. А также уменьшаются затраты на обслуживание, т.к поверка одного прибора занимает гораздо меньше времени и средств чем поверка трёх.

Таблица 5.2.

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **Наименование** | **Модель** | **Цена**  **закупки руб.** | **Цена**  **поверки руб.** | **Масса**  **прибора кг.** |
| Генератор сигналов произвольной формы | AFG–3022 | 88 618 | 4 000 | 4,5 |
| Цифровой запоминающий осциллограф | TDS2012В | 42 300 | 3 200 | 2 |
| Вольтметр универсальный цифровой | В7-27А | 6 200 | 1 430 | 6 |
| Источник питания постоянного тока | АТН-1232 | 3 360 | 1 200 | 4,5 |
| Аттенюатор | JFW 50DB-002 | 173 | — | ≈ 0,1 |
| общая масса приборов = 17,1 кг.  общая закупочная цена приборов = 140 651 руб.  цена поверки всего комплекта приборов = 9 830 руб. | | | | |

\* Цены указаны с НДС, а цены на государственную поверку указаны без учета наценок за срочность и транспортировку.

Z ∑2 = Zз + Zп + Zр = 140 651 + 9 830 = 150 481 руб.

Zз затраты на закупку; Zп затраты на поверку; Zр затраты на ремонт

Zз = Zз AFG–3022 + Zз TDS1012 + Zз В7-27А + Zз АТН-1232 =

= 88 618 + 42 300 + 6 200 + 3 360 + 173 = 140 651 руб.

Zп = Zп AFG–3022 + ZпTDS1012 + Zп В7-27А + Zп АТН-1232 =

= 4 000 + 3 300 + 1 430 + 1 200 = 9 830 руб.

Zр→0 т.к. ремонт осуществляется довольно редко и если его стоимость разделить на всё время работы, то это отношение будет очень близко к нулю.

Из приведенного выше расчёта становится ясно, что по экономической эффективности схемы применяемые в разработанной методике будут дороже т.к.Z ∑1 = 96 573 < Z ∑2 = 150 481.

Для каждой поверки другой АЭ-системы приходится закупать и тоже их поверять другие средства измерения (см. схему №4 пп.2.10.), а при применении типовой методики поверки можно постоянно пользоваться одним набором аппаратуры. Разработанная типовая методика при постоянных поверках будет экономичнее за счёт высокой самоокупаемости, и эти обстоятельства позволяют достичь экономии в расходах.

# Глава 5. БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ (БЖД)

Безопасность жизнедеятельности – это состояние деятельности, при которой с определенной вероятностью исключаются потенциальные опасности, влияющие на здоровье человека. Безопасность следует принимать как комплексную систему, мер по защите человека и среды его обитания от опасностей формируемых конкретной деятельностью.

### 5.1. Основные источники опасности при поверке АЭ-системы

При проведении поверки АЭ-системы, основными источниками опасности являются контрольно-измерительные приборы (КИА), а сама она является практически полностью безопасной т.к. не является источником опасных излучений, в ней не применяются никаких химические или радиационные материалы, она не испускает апериодических звуков различной интенсивности, т.е. работает бесшумно и не загрязнет окружающий воздух.

### 5.2. Требования предъявляемые при поверке АЭ-системы

При проведении поверки АЭ-системы предъявляются следующие требования:

– К проведению поверки допускаются лица, аттестованные в качестве поверителей систем акустико-эмиссионных в порядке, устанавливаемом Федеральным агентством по техническому регулированию и метрологии.

– Должны быть соблюдены общие требования безопасности согласно ГОСТу 12.2.007.0-75 «Изделия электротехнические общие требования безопасности».

– Перед проведением поверки аппаратуры все приборы должны быть обязательно заземлены.

– Обеспечить выполнение правил техники безопасности согласно «Правилам технической эксплуатации электроустановок потребителей» (ПТЭ).

– При проведении поверки должны выполняться требования по безопасности указанные в эксплуатационной документации на применяемые средства контроля.

– Проверить КИА на соответствие «Правилам техники безопасности при эксплуатации электроустановок потребителем» (ПТБ), утвержденными Госэнергонадзором России.

– Поверка должна проводиться при нормальных условиях в соответствии с нормативной документацией устанавливаемой на средства измерения (СИ).

При работе с включенной аппаратурой запрещается:

– отключать заземление;

– протирать аппаратуру влажной ветошью, вынимать и заменять предохранители;

– касаться руками и неизолированными токопроводящими предметами токоведущих частей установки;

– вставлять и извлекать блоки из цепи установки.

Сама АЭ-система должна соответствовать требованиям электрической и механической безопасности предъявляемым к изделиям класса II по ГОСТ Р 50377-92.

При работе с АЭ-системой, её настройке, ремонтных работах, а также и её поверке следует соблюдать правила техники безопасности по использованию приборов с электрическим напряжением до 1000В, [ГОСТ 12.2.007.7-75, ССБТ.] вследствие чего необходимо выполнить следующие действия:

– Проверить защиту шнура сетевого питания от механических повреждений на участке присоединения шнура к приборным каркасам.

– Подключить к одному контуру заземления приборный блок и входящий в состав АЭ-системы компьютер.

– Проверить защиту соединительных кабелей от возможных механических повреждений.

– Проверить надёжность заземления всех контрольно-измерительных приборов и оборудования входящих в состав АЭ-системы.

– Произвести подключение разъёмов и других элементов, монтаж и установку акустических преобразователей при отключённой сети переменного тока.

### 5.3. Требования предъявляемые к рабочему месту поверителя

Рабочее место (РМ) поверителя представляет собой совокупность физических, химических, биологических, социально-психологических и эстетических факторов внешней среды, воздействующих на человека. При организации рабочего места поверителя необходимо соблюдение ряда нормативных документов [ГОСТ12.0.005-84ССБТ.; ГОСТ 12.2.032-78 ССБТ.; ГОСТ 12.2.032-78 ССБТ. и др.] по которым основные требования к факторам рабочей среды заключаются в следующем:

– факторы рабочей среды при их комплексном воздействии на человека не должны оказывать отрицательного влияния на его здоровье при профессиональной деятельности его в течение длительного времени;

– факторы рабочей среды не должны вызывать снижения надёжности и качества деятельности поверителя при действии их в течение рабочего дня.

На человека осуществляющего поверку, в первую очередь не должны действовать:

– повышенный уровень шума, источниками которого являются вентиляционные устройства, электрические приборы и др.;

– высокие уровни электростатического и электромагнитного излучения.

Также необходимо обеспечивать благоприятный микроклимат, чистоту воздуха и освещенность в помещении, где проходят работы по поверке.

5.3.1. Главное внимание на рабочем месте поверителя следует уделить обеспечению электробезопасности. [ГОСТ 12.1.030-81ССБТ.; ГОСТ 12.1.038-82 ССБТ.] В связи с тем, что операция самой поверки проходит в рабочем помещении оснащённом всей необходимой контрольно-измерительной аппаратурой (КИА), применяемой для проведения поверки [п.п. 2.9.], а данная аппаратура является электрическим приборами, то для неё должны быть применены соответствующие требования, изложенные в действующих «Правилах устройства электроустановок».

Для обеспечения электробезопасностиобычно используют **з**ащитное заземление – преднамеренное соединение металлических нетоковедущих частей электроустановки с землёй отдельно выделенным кабелем. Электрическое сопротивление такого соединения должно быть минимальным (не более 4 Ом для сетей с напряжением до 1000 В и не более 10 Ом для остальных). При этом корпус электроустановки и обслуживающий её персонал будут находиться под равными, близкими к нулю, потенциалами даже при пробое изоляции и замыкании фаз на корпус.

5.3.2. Шумопределяется как совокупность апериодических звуков различной интенсивности и частоты. Интенсивный шум на производстве ведёт к снижению внимания и увеличению числа ошибок при выполнении работы, исключительно сильное влияние оказывает шум на быстроту реакции, сбор информации и аналитические процессы, из-за шума снижается производительность труда и ухудшается качество работы. Уровень шума на рабочих местах не должен превышать 50 дБА. [ГОСТ 12.1.003-83 ССВТ.; ГОСТ 12.1.036-81 ССБТ.; СНиП 11.12-77.] Нормируемые уровни шума обеспечиваются путём использования малошумного оборудования и применением звукопоглощающих материалов (минераловатные плиты, специальные перфорированные плиты, панели). Кроме того, необходимо использовать подвесные акустические потолки.

6.3.3. В рабочей зоне поверителя необходимо предусматривать регулирование подачи теплоносителя для соблюдения нормативных параметров микроклимата в помещениях [ГОСТ 12.1.005-88 ССБТ.] Это является одним из необходимых параметров для обеспечения нормальных условий в помещениях, оказывающих существенное влияние на самочувствие человека. Микроклимат, зависит от теплофизических особенностей технологического процесса, климата, сезона года, условий вентиляции и отопления. Микроклиматические условия на рабочих местах в помещениях с вычислительной техникой [ГОСТ 12.1.005-88. ] должны соответствовать требованиям, указанным в таблице № 6.

**Микроклимат производственных помещений**

Таблица № 6.1

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **Период года** | **Температура воздуха, ºС** | **Скорость движения воздуха, м/с** | **Относительная влажность воздуха, %** |
| Холодный | 22 – 24 | до 0,1 | 40 – 60 |
| Тёплый | 23 – 25 | 0,1 – 0,2 | 40 – 60 |

Кондиционирование воздуха должно обеспечивать поддержание параметров микроклимата в необходимых пределах в течение всех сезонов года, очистку воздуха от пыли и вредных веществ, создание необходимого избыточного давления в чистых помещениях для исключения поступления неочищенного воздуха. Температура подаваемого воздуха должна быть не ниже 19ºС. [ГОСТ 12.4.021-75 ССБТ.]

Для предотвращения образования и защиты от статического электричества необходимо использовать нейтрализаторы и увлажнители, а полы должны иметь антистатическое покрытие. Допустимые уровни напряженности электростатических полей не должны превышать 20 кВ в течение 1 часа. [ГОСТ 12.4.124-83 ССБТ.]

5.3.4. Основной задачей производственного освещения является поддержание на рабочем месте освещённости, соответствующей характеру зрительной работы. [ГОСТ 21.608-84 СПДС] Увеличение освещённости рабочей поверхности улучшает видимость объектов за счёт повышения их яркости, увеличивает скорость различения деталей, что сказывается на росте производительности труда. Производственное освещение должно обеспечивать отсутствие в поле зрения работающего резких, и особенно движущихся теней. Наличие таких теней искажает размеры и формы объектов, их различение, и тем самым повышает утомляемость, снижает производительность труда.

Дляосвещения рабочих мест применяется комбинированное освещение (общее плюс местное), хотя более предпочтительно общее освещение из-за большего перепада яркостей на рабочем месте при использовании светильников местного освещения.

Для общего освещения используются в основном потолочные или встроенные светильники с люминесцентными лампами. Яркость должна быть не более 200 кд/м². Источники света лучше использовать нейтрально-белого или «тёплого» белого цвета с индексом цветопередачи не менее 70. [ГОСТ 24940-96] Для исключения засветки экранов прямыми световыми потоками светильники общего освещения располагают сбоку от рабочего места, параллельно линии зрения.

Местное освещение на рабочих местах обеспечивается светильниками, устанавливаемыми непосредственно на рабочем столе или на вертикальных панелях специального оборудования. Они должны иметь непросвечивающий отражатель и располагаться ниже или на уровне линии зрения, чтобы не вызывать ослепления.

5.3.5. Другим не менее важным требованием к рабочему месту поверителя является соблюдение требований по уровню вибрации. [СН 2.2.4/2.1.8.566-96.] Малые механические колебания, возникающие в упругих телах или телах, находящихся под воздействием переменного физического поля, называются вибрацией. Вибрация относится к факторам, обладающим высокой биологической активностью. Причину этого явления видят в резонансном эффекте. При повышении частот колебаний более 0,7 Гц возможны резонансные колебания и в органах человека. Резонанс человеческого тела, отдельных его органов наступает под действием внешних сил при совпадении собственных частот колебаний внутренних органов с частотами внешних сил. Область резонанса для головы в положении сидя при вертикальных вибрациях располагается в зоне между 20...30 Гц, при горизонтальных **–**1,5...2 Гц.

При создании рабочего места необходимо согласовываться с гигиеническими нормами вибраций. [ГОСТ 12.1.012-9.] При гигиенической оценке вибраций нормируемыми параметрами являются средние квадратичные значения виброскорости V (и их логарифмические уровни LV), или виброускорения для локальных вибраций в октавных полосах частот, а для общей вибрации – в октавных или треть октавных полосах. Максимальное значение Vт для локальной вибрации не должно превышать значений, определяемых для T = 30 мин, а для общей вибрации при Т = 10 мин.

### 5.4. Требования к пожаробезопасности на рабочих местах, оборудованных КИА

Так как в используемой КИА при поверке АЭ-систем нет горючих веществ, и в процессе проведения поверки не возникает возможности их контакта с воздухом, то опасность пожара и взрыва сведена к минимуму. Однако при работе с электрическими приборами эта возможность не исключена, поэтому рабочее место должно соответствовать требованиям пожарной безопасности. [ГОСТ 12.1.004-91 ССБТ.]

Требуемая степень огнестойкости должна соответствовать фактической степени огнестойкости, которая определяется по таблицам СНиП П-2-80, содержащим сведения о пределах огнестойкости.

Помещение, где функционируют средства измерений, относится к категории В – пожароопасные помещения, в котором имеются твёрдые сгораемые вещества, способные только гореть, но не взрываться при контакте с кислородом воздуха. Наиболее вероятной причиной пожара является неисправность электрооборудования и электросетей. При эксплуатации КИА возможны возникновения следующих аварийных ситуаций: короткие замыкания, перегрузки, повышение переходных сопротивлений в электрических контактах, перенапряжение, возникновение токов утечки. При возникновении аварийных ситуаций происходит резкое выделение тепловой энергии, которая может явиться причиной возникновения пожара. Требования к пожаробезопасности на рабочих местах определяются согласно СНиП 21.01-97.

Для снижения вероятности возникновения пожара необходимо проводить различные профилактические мероприятия:

– Организационные – правильная эксплуатация электрооборудования, правильное содержание зданий и помещений.

– Технические – соблюдение противопожарных правил и норм, норм при проектировании зданий, при устройстве отопления, вентиляции освещения, правильное размещение оборудования.

– Мероприятия режимного характера – запрещение курения в неустановленных местах и т.д.

– Эксплуатационные – своевременные профилактические осмотры и ремонт неисправного электрооборудования.

Для снижения вероятности возникновения и распространения пожара на ранней стадии необходимо:

– установить пожарную сигнализацию с системой оповещения работников, дежурного по объекту и, желательно, автоматическое оповещение противопожарных служб;

– иметь в наличии несколько ручных углекислотных огнетушителей (например, огнетушители марки ОУ-3);

### 5.5. Расчёт зануления

Работы по проведению поверки проводятся в рабочем помещении, оснащённом всей необходимой контрольно-измерительной аппаратурой (КИА). Проведение поверочных работ происходит при искусственном освещении, а измерительная аппаратура использует высокое напряжение. Именно это напряжение может привести к производственным травмам, которые в свою очередь зависят от величины и от протяженности воздействия электротока на организм человека.

В нашем случае (как было отмечено выше пп. 6.3.1.) применяемые устройства питаются от напряжения 380/220В или 220/127В, тогда в электроустановках с заземленной нейтралью для обеспечения электробезопасности необходимо применять защитное зануление.

Зануление – преднамеренное электрическое соединение с нулевым защитным проводником металлических нетоковедущих частей, которые могут оказаться под напряжением. Оно считается основным средством обеспечения электробезопасности в трехфазных сетях с заземлённой нейтралью напряжением до 1000 В. Зануление применяется в сетях с напряжением до 1 кВ с заземленной нейтралью. Зануление осуществляет защиту путём автоматического отключения повреждённого участка электроустановки от сети и снижение напряжения на корпусах занулённого электрооборудования до безопасного на время срабатывания защиты. Одним словом, основное назначение зануления – обеспечить срабатывание макси­мальной токовой защиты при замыкании на корпус. Для этого ток короткого замы­кания должен значительно превышать установку защиты или номинальный ток плавких вставок.

Пример принципиальной схемы зануления приведён на рисунке № 7.

Рис. 6.1. Схема зануления

Ro - сопротивление заземления нейтрали;

Rh - расчетное сопротивление человека;

1- магистраль зануления;

2- повторное заземление магистрали;

3- аппарат отключения;

4- электроустановка;

5- трансформатор.

Сила тока зависит от величины приложенного напряжения и сопротивления участка тела. Сопротивление участка тела складывается из сопротивления тканей внутренних органов и сопротивления кожи. При расчёте принимается R = 1000 Ом. Воздействие на человека тока различной величины приведено в таблице № 6.2.

Таблица № 6.2.

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Ток, мА** | **Воздействие на человека** | |
| **Переменный ток** | **Постоянный ток** |
| 0,5 | отсутствует | отсутствует |
| 0,6-1,5 | лёгкое дрожание пальцев | отсутствует |
| 2-3 | сильное дрожание пальцев | отсутствует |
| 5-10 | судороги в руках | нагрев |
| 12-15 | трудно оторвать руки от проводов | усиление нагрева |
| 20-25 | руки парализует немедленно | усиление нагрева |
| 50-80 | паралич дыхания | затруднение дыхания |
| 90-100 | при t >3 сек – паралич сердца | паралич дыхания |

К электроустановкам переменного и постоянного тока при их эксплуатации предъявляют одинаковые требования по технике безопасности.

Необходимо спроектировать зануление электрооборудованиия с номинальным напряжением 220 В и номинальным током 10 А. Для питания электрооборудования обычно используется провод марки АЛП, прокладываемый в стальной трубе. Выбираем сечение алюминиевого провода S = 2.5 мм. Первый участок магистрали выполнен четырёхжильным кабелем марки АВРЕ с алюминиевыми жилами сечением (3**·**50+1**·**25) мм. в полихлорвиниловой оболочке. Длина первого участка – 0,25 м. Участок защищён автоматом с комбинированным расщепителем на ток Iном = 100 А.

Второй участок проложен кабелем АВРЕ (3**·**25+1**·**10)мм длиной 0,075м. Участок защищён автоматическим выключателем на ток 80 А. Магистраль питается от трансформатора типа ТМ = 1000 с первичным напряжением 6 кВ и вторичным 400/220 В. Для защиты используется предохранитель ПР-2. Ток предохранителя:

 (1) 6.1

где, Кп – пусковой коэффициент = 0,5...4,0.

Значение коэффициента К принимается в зависимости от типа электрических установок:

1. Если защита осуществляется автоматическими выключателями, имеющими только электромагнитные расцепители, т.е. срабатывающие без выдержки времени, то К выбирается в пределах 1,25 **÷** 1,4.

2. Если защита осуществляется плавкими предохранителями, время перего­рания которых зависит от величины тока (уменьшается с ростом тока), то в целях ускорения отключения К принимают ≥3.

3. Если установка защищена автоматами выключения с обратно зависимой от тока характеристикой, подобной характеристике предохранителей, то также К ≥ 3.

Выбираем стандартный предохранитель на 15 А.

Так как в схеме приведён участок магистрали больше 200 м, то необходимо повторное зануление. Значение сопротивления зануления не должно превышать 10 Ом.

### 5.6. Расчётная проверка зануления

Для определения расчётного значения сопротивления рассчитаем активное сопротивление фазного провода для каждого из участков:

 (2) 6.2

где, l – длина провода;

S – сечение провода;

ρ – удельное сопротивление материала (для алюминия ρ=0,028 (Ом**·**мм²/м).

Рассчитаем активное сопротивление фазных проводов для трёх участков:

 Ом

 Ом

 Ом

RФ1 = 0,14 0м; RФ2 = 0,084 0м; RФ3 = 0,336 0м:

Полное активное сопротивление фазного провода: RФе = О, 56 0м;

Определяем внешние индуктивные сопротивления.

Для магистрали зануления:

Х'М3 = Х'М3 М **–** ХМ3 L (6) 6.3

где, Х'М3 и Х'ФМ – индуктивные сопротивления, обусловленные взаимоиндукцией фазового провода и магистрали зануления;

ХМ3 и ХФ1 – внешние индуктивные сопротивления самоиндукции.

Индуктивные сопротивления, обусловленные взаимоиндукцией фазового провода и магистрали зануления определяются по формуле:

Х'ФМ = Х'М3 М = 0145 lg (dФМ3) (7) 6.4

где d – расстояние между фазным и ну­левым проводом. (для 1 и 2 d = 15 мм, для 3 d = 9.5 мм.)

Отсюда, расчёт фазового провода:

Х’ФМ1 = Х’М3М = 0,145 lg15 = 0,17 Ом.

Х’ФМ2 = Х’М3М = 0,145 lg15 = 0,17 Ом.

Х’ФМ3 = Х’М3М = 0,145 lg9,5 = 0,142 Ом.

Суммарное сопротивление на всех участках:

Х’ФМ = Х’М3М = 3**·**0,145 = 0,482 Ом.

Внешние индуктивные сопротивления определяются по формуле:

XФL = X'L**·**L (12) 6.5

где, X'L- удельное сопротивление самоиндукции, Ом/м.

X'L1 = 0,09**·**0,25 = 0,023 Oм.

X'L2 = 0,068**·**0,075 = 0,005 Oм.

X'L3 = 0,03**·**0,03 = 0,0009 Oм.

Суммарное внешнее индуктивное сопротивление фазового провода:

ХФL = 0,029 Oм.

XM3L1 = 0,068**·**0,25 = 0,017 Oм.

XM3L2 =0,03**·**0,075 = 0,0025 Oм.

XM3L3=0,138**·**0,03 = 0,004 Oм.

Суммарное внешнее индуктивное сопротивление магистрали зануления:

XM3L = 0,024 Oм.

Суммарное внешнее индуктивное сопротивление:

ХФ' = 0,435 **–** 0,0314 = 0,453 Ом.

ХМ3' = 0,435 – 0,0244 = 0,458 Ом.

Определяем внутреннее индуктивное сопротивление:

ХФ"1-2 = XM3"1-2 = 0,057**·**0,075 = 0,001 Ом.

ХФ"3 = 0,0157**·**0,03 = 0,0005 Oм.

Полное сопротивление фазного провода и магистрали зануления:

ZФ = 0,78 Ом.

ZM3 = 0,79 Oм.

Ток однофазного КЗ определим по формуле:

IКЗ = 220/(0,78+0,79) = 132 А (11) 6.6

Сравним расчётные параметры с допустимыми: IКЗ = 132 > 12 А

Кроме того, должно выполняться условие: ZM3 < 2**·**ZФ

Условие выпол­няется.

Одним из основных направлений решения задачи безопасной эксплуатации промышленного оборудования является, безусловно, использование в максимально возможном объёме средств диагностики и неразрушающего контроля (НК). Особенно необходим метрологический контроль на атомных электростанциях, в нефтегазовой и химической промышленности с целью повышения их безопасности. Все производственные предприятия, работающие на рынке экологии, нуждаются в АЭС – этих полезных и надёжных приборах НК.

# Глава 6. Экологическая безопасность

В современном понимании экология определяется как наука об отношениях организма или групп организмов к окружающей их среде, или как наука о взаимоотношениях между живыми организмами и средой их обитания. Экологическим загрязнением в узком смысле слова называется внесение в какую-либо среду, не характерное для неё химических, физических и биологических компонентов.

По классификации загрязнений предложенной американским учёным Парсоном, существуют следующие **типы загрязнений:**

– Сточные воды.

– Минералы, неорганические кислоты и соли.

– Органические кислоты и соли.

– Твёрдый сток.

– Вещества, имеющие питательную ценность для растений.

– Радиоактивные вещества.

– Носители инфекции.

Во время проведения поверки АЭ-систем, также как и во время работы самих АЭ-систем не используется никаких веществ (минералов, неорганических кислот и солей, радиоактивных веществ, и веществ имеющих питательную ценность для растений), и не происходит никаких промышленных выбросов в атмосферу, также не образуется никаких сточных вод. Нет и промышленных твёрдых отходов а, следовательно, и нет необходимости в Санитарной очистке промышленных выбросов. Проведение поверки не нарушает требований к средствам контроля и измерения. [ГОСТ 22261-94]. Таким образом, сама эта деятельность не оказывает никакого вредного воздействия на экологию. Требования экологической безопасности безусловно выполняются на всех этапах проведения поверки АЭ-систем.

Проведение поверки АЭ-системы не является экологически опасной процедурой даже в условиях нахождения АЭ-системы на самом промышленном объекте во время этой работы. Поэтому рассмотрим эту проблему с точки зрения безопасности рабочего места метролога, занимающегося поверкой АЭ-систем в лабораторных условиях. Качество среды рабочего помещения, где проводится поверка, прежде всего сказывается на работоспособности человека. Исследования доказывают, что правильная организация рабочего места могут значительно повысить эффективность труда.

Основные экологическинеблагополучные факторы среды обитания связаны, во-первых, с районом расположения самих рабочих зданий – центр города, промышленные районы, территории бывших заводов. Часто большое количество людей вынуждено работать в одном помещении, отчего объём воздуха, желательный для нормальной жизнедеятельности человека, бывает намного снижен, что ведёт за собой увеличение концентраций находящихся в воздухе вредных веществ. Также часто уход за помещением осуществляется не всегда добросовестно. К тому же при уборке применяются сильные химические реагенты, которые затем попадают в воздух. А иногда для отделки и меблировки рабочих помещений используются более дешевые синтетические материалы, которые являются источником поступления в воздух большого количества вредных веществ.

Вторым, основным экологическинеблагополучным фактором рабочего места поверителя являются электромагнитные поля (ЭМП). Электромагнитное излучение нельзя увидеть, услышать, понюхать, попробовать на вкус или потрогать, но, тем не менее, оно присутствует повсюду.

Его создают две большие группы искусственных источников:

– изделия, которые специально создавались для излучения электромагнитной энергии: радио- и телевизионные вещательные станции, различные системы радиосвязи, мобильные телефоны, радиолокационные установки, физиотерапевтические аппараты, технологические установки в промышленности;

– устройства, предназначенные не для излучения электромагнитной энергии в пространство, а для выполнения какой-то иной задачи, но при работе которых протекает электрический ток, создающий паразитное излучение ЭМП, а именно к таким устройствам относятся приборы с которыми работают поверители АЭ-систем.

Излучаемые этими устройствами электромагнитные поля вместе с естественными полями Земли и Космоса создают сложную и изменчивую электромагнитную обстановку. В результате суммарная напряженность ЭМП в различных точках земной поверхности может увеличиться в миллионы раз по сравнению с естественным фоном. Одним из ведущих факторов внешнего воздействия электромагнитного поля является ЭМП генерируемое компьютером а также контрольно – измерительными приборами (КИА).

Таким образом, самой важной экологической проблемой на рабочих местах поверителя является электромагнитное поле. Силовые кабели, проходящие по стенам зданий и огромное количество контрольно измерительной техники, которая потребляет электроэнергию, являются источниками электромагнитного излучения. Это излучение концентрируется вокруг устройств в виде электромагнитного поля.

### 6.1. Влияние ЭМП на организм человека

По мнению ученых гигиенистов, вредными считаются электромагнитные поля напряженностью свыше 0,2 мкТл. Исследования, показали, что даже при кратковременной работе (45 минут) в организме человека под влиянием электромагнитного излучения происходят значительные изменения гормонального состояния и специфические изменения биотоков мозга. Особенно ярко и устойчиво эти эффекты проявляются у женщин. Также при определённых условиях электромагнитные поля могут вызывать нарушения со стороны центральной нервной, сердечно–сосудистой и эндокринной систем, снижение иммунитета, эндокринные нарушения, заболевания различных органов и систем организма. В зоне действия ЭМП люди жалуются на раздражительность и нетерпеливость. Через 1-3 года у некоторых появляется чувство внутренней напряженности, суетливость.

Влияет ЭМП и на зрение. К зрительному утомлению работника относят целый комплекс симптомов: появление «пелены» перед глазами, глаза устают, делаются болезненными, появляются головные боли, нарушается сон, изменяется психофизическое состояние организма. Появляется синдром длительной статистической нагрузки (СДСН).

У работников также развивается мышечная слабость, изменения формы позвоночника. Происходит это вследствие того, что поверка проводится в вынужденной сидячей рабочей позе, и от этого появляется статическая мышечная нагрузка мышц ног, плеч, шеи и рук, которые длительно пребывают в состоянии сокращения. А поскольку мышцы не расслабляются, в них ухудшается кровоснабжение, нарушается обмен веществ, накапливаются биопродукты распада и, в частности, молочная кислота.

### 6.2. Источники ЭМП на рабочем месте

Главными источниками электромагнитных излучений на рабочем месте поверителя являются составные части поверочной схемы: генератор, осциллограф, аттенюатор, вольтметр, и блок для обработки сигналов, представленный обычно как персональный компьютер с необходимым программным обеспечением. Осциллограф и монитор имеют средство визуального отображения информации, в основу которого положена электронно-лучевая трубка. Все эти элементы при работе формируют сложную электромагнитную обстановку на рабочем месте пользователя.

Также можно отметить, что уровень электромагнитного поля в значительной степени зависти от типа и качества электропроводки. Так, например, если отсутствует общее заземление, третий контакт вилки оказывается «висящим» в воздухе, что существенно увеличивает уровень электромагнитного поля. Кроме того, низкочастотные поля излучаются и электроприборами, и люминесцентными лампами, и жгутами проводов.

Сильное электростатическое поле не безобидно для человеческого организма. Снизить опасность для здоровья во многом можно с помощью нормального заземления аппаратуры и оптимальной расстановки рабочих мест. Установкой сертифицированных защитных фильтров и их заземлению, переоборудованием сети электропитания, можно почти привести в норму визуальные параметры рабочих мест и практически исключить облучение электромагнитными полями.

Интенсивность электромагнитного поля в какой-либо точке пространства зависит от мощности прибора и расстояния от него. На характер распределения поля в помещении влияет наличие металлических предметов и конструкций, которые являются проводниками, а также диэлектриков, находящихся в ЭМП.

Электромагнитное поле характеризуется длиной вол­ны , м. или частотой колебания f, Гц:

= сТ == elf, или с == f, (6.7.)

где, с = 3 **∙** 10s м/с – скорость распространения радио­волн, равная скорости света;

f – частота колебаний, Гц;

Т = 1/f – период колебаний.

Интервал длин радиоволн – от миллиметров до де­сятков километров, что соответствует частотам колебаний в диапазоне от 3 **∙** 104 Гц до 3 **∙** 106 Гц.

### 6.3. Защита от электромагнитных полей

Электромагнитное загрязнение окружающей среды является объективной реальностью и поэтому необходимо принимать меры по защите от электромагнитных факторов.

Защита от электромагнитных полей и излучений в нашей стране регламентируется Законом РФ об охране окружающей природной среды (1991г.), в котором предусмотрены меры по предупреждению и устранению вредных физических воздействий, включая и электромагнитные поля. А также законом Р.Ф. «Защита от электромагнитных полей и излучений и рядом других нормативных документов. Исследования электромагнитных полей на рабочих местах должны проводиться в соответствии с требованиями ГОСТ 12.1.002—84, ГОСТ 12.1.006—84 по методике, утвержденной Минздравом.

Инженерно-технические защитные мероприятия строятся на использовании явления экранирования электромагнитных полей непосредственно в местах пребывания человека либо на мероприятиях по ограничению эмиссионных параметров источника поля. Поэтому основными мерами защиты от воздействия электромаг­нитных излучений является уменьшение излучения непосредственно у источника, которое достигается увеличением расстояния между источником направленного действия и рабочим местом. Уровень напряженности электромагнитных полей снижают также с помощью устройства различных экранов.

К организационным мероприятиям по защите от действия ЭМП относятся: выбор режимов работы излучающего оборудования, обеспечивающего уровень излучения, не превышающий предельно допустимый, ограничение места и времени нахождения в зоне действия ЭМП (защита расстоянием и временем), обозначение и ограждение зон с повышенным уровнем ЭМП.

Защита временем применяется, когда нет возможности снизить интенсивность излучения в данной точке до предельно допустимого уровня. В действующих ПДУ предусмотрена зависимость между интенсивностью плотности потока энергии и временем облучения.

Защита расстоянием основывается на падении интенсивности излучения, которое обратно пропорционально квадрату расстояния и применяется, если невозможно ослабить ЭМП другими мерами, в том числе и защитой временем. Защита расстоянием положена в основу зон нормирования излучений для определения необходимого разрыва между источниками ЭМП и жилыми домами, служебными помещениями и т.п. Для каждой установки, излучающей электромагнитную энергию, должны определяться санитарно-защитные зоны в которых интенсивность ЭМП превышает ПДУ. Границы зон определяются расчётом для каждого конкретного случая размещения излучающей установки при работе их на максимальную мощность излучения и контролируются с помощью приборов.

Уменьшение мощности излучения генератора можно произвести за счёт рационального размещения СВЧ и УВЧ установок.

Принимая во внимание все вышеизложенные сведения, можно сделать вывод о том, что необходимо проводить комплексную оценку электромагнитной обстановки в рабочих помещениях с учетом взаимного расположения рабочих мест.

Экранирование – наиболее эффективный способ за­щиты. Электромагнитное поле ослабляется экраном вследствие создания в толще его поля противоположного направления. Степень ослабления электромагнитного по­ля зависит от глубины проникновения высокочастотного тока в толщу экрана. Чем больше магнитная проницаемость экрана и выше частота экранируемого поля, тем меньше глубина проникновения и необходимая толщина экрана. Экранируют либо источник излучений, либо ра­бочее место. Экраны бывают отражающие и поглощающие.

Для защиты человека от воздействия электромагнитных излучений в строительных конструкциях в качестве защитных экранов могут применяться металлическая сетка, металлический лист или любое другое проводящее покрытие, в том числе и специально разработанные строительные материалы.

Так например разработаны и выпускаются магнезиально-шунгитовые строительные радиоэкранирующие материалы (РЭМ). На эти материалы получен патент Р.Ф. № 2233255. В них используется магнезиальное вяжущее, так называемый цемент Сореля, имеющий низкое объёмное электрическое сопротивление. Сочетание электропроводящего наполнителя шунгита с электропроводящим магнезиальным вяжущим позволило получить новый класс экранирующих строительных материалов. Эти материалы экранируют электромагнитные поля в диапазоне частот от 10 кГц до 34,5 ГГц. Экранирующие текстильные материалы обладают малой толщиной, лёгкостью и гибкостью, они могут дублироваться другими материалами (тканями, кожей, плёнками), хорошо совмещаются со смолами и латексами.

В следствии всего вышесказанного можно сделать вывод, что проведение поверки АЭ-систем даже вне лабораторных условий является экологически чистым и безопасным видом деятельности.

# Выводы

За последние годы лазерно-ультразвуковой метод исследования структуры неоднородных сред нашел широкое применение в различных

отраслях жизни и деятельности человека. К наиболее интересным достижениям можно отнести:

- Исследования лазерно-индуцированных фазовых переходов на импедансной границе металлов.

- Оптимизация условий лазерной обработки поверхности металлов.

- Разработка оптико-акустических методов диагностики биологических сред и тканей.

- Разработка методов лазерной оптико-акустической и лазерно-ультразвуковой диагностики для исследования кожных покровов.

-Исследования лазерной оптико-акустической томографии биологических тканей

- Разработка комбинированной лазерно-ультразвуковой и оптико-акустической системы томографии мягких тканей

- Создание установки для лазерно-ультразвукового контроля композиционных материалов.

- Разработка лазерно-ультразвукового метода неразрушающего контроля.

На основе проведенного теоретического анализа связи скорости распространения ультразвуковых волн и величины остаточных напряжений, можно экспериментально реализовать способ абсолютной калибровки метода, основанный на создании напряжений в материалах.

Высокая точность (0.05%) измерения вариации скорости продольный акустических волн в материалах лазерно-ультразвуковым методом позволяет определить внутренние механические напряжения с порогом детектирования 22.7 МПа.

# БИБЛИОГРАФИЧЕСИЙ СПИСОК

–1 ФЗ N 184 от 27 декабря 2002 года Федеральный закон «Об обеспечении единства измерений»

–2 ГОСТ 23829-85. «Контроль неразрушающий акустический». Стандарт устанавливает термины и определения понятий в области акустического неразрушающего контроля качества материалов и изделий.

–3 ГОСТ 8.009-84. (взамен ГОСТ 23222-88) «ГСИ. Нормируемые метрологические характеристики средств измерений». Стандарт распространяется на средства измерений и устанавливает номенклатуру метрологических характеристик (МХ), правила выбора комплексов нормируемых МХ (НМХ) для конкретных типов средств измерений и способы нормирования МХ в нормативно-технических документах (НТД).

–4 ГОСТ 27655-88. «Акустическая эмиссия. Термины, определения и обозначения» (взамен ГОСТ 25.002-80). Настоящий стандарт устанавливает применяемые в науке, технике и производстве термины и определения основных понятий в области акустической эмиссии.

–5 ГОСТ 16465-70. «Сигналы радиотехнические измерительные. Термины и определения». Стандарт устанавливает термины и определения основных понятий в области измерительных радиотехнических сигналов, полученных с помощью измерительных генераторов тока и напряжения.

– 6 ГОСТ 8.061-80. «ГСИ. Поверочные схемы. Содержание и построение» (взамен ГОСТ 8.061-73). Настоящий стандарт распространяется на поверочные схемы и устанавливает особые требования к их содержанию и построению.

–7 ГОСТ 8.207-76. Государственная система обеспечения единства измерений. Прямые измерения с многократными наблюдениями. Методы обработки результатов наблюдений. Основные положения

– 8 РМГ 29-99. (с изм. 1 2005) «Метрология. Основные требования и определения» (взамен ГОСТ 16263-70, МИ 2247-93). Рекомендации устанавливают основные термины и определения понятий в области метрологии.

– 9 РМГ 51-2002. «ГСИ. Документы на методики поверки средств измерений. Основные положения» (взамен РД 50-660-88 и МИ 2526-99). Рекомендации распространяются на документы – методики поверки средств измерений и устанавливают их классификацию, порядок разработки, принятия (утверждения), регистрации и издания.

– 10 ПР 50.2.006-94. (с изм. 1.2001) «Порядок проведения поверки средств измерений» (взамен ГОСТ 8.438-81, ГОСТ 8.513-84). Документ распростра-няется на средства измерений при выпуске из производства и ремонта, подлежащие применению. И устанавливает требования к организации и порядку проведения поверки средств измерений.

–11 РД 03-299-99. «Требования к акустико-эмиссионной аппаратуре, используемой для контроля опасных производственных объектов». Документ предназначен для руководства при определении технических характеристик и параметров аппаратуры АЭ в процессе испытаний.

– 12 РД 03-300-99. «Требования к преобразователям акустической эмиссии, применяемым для контроля опасных производственных объектов». Настоящие Требования распространяются на контактные, прямые, пьезоэлектрические ПАЭ, используемые для контроля промышленных объектов, а также при исследованиях АЭ в лабораторных условиях, и устанавливают методы определения основных параметров ПАЭ.

– 13 РД 03-131-97. «Руководящие документы Госгортехнадзора России правила организации и проведения акустико-эмиссионного контроля сосудов, аппаратов, котлов и технологических трубопроводов».

– АМ 102.0012.00.000 ПС. Руководство по эксплуатации систем акустико-эмиссионных «Малахит АС-15А».

– 14 АМ 116.0705.00.000 ТУ. Технические условия на системы акустико-эмиссионные «Малахит АС-15А». Предназначены для обнаружения и регистрации источников акустической эмиссии (АЭ), измерения параметров АЭ сигналов с целью контроля состояния потенциально опасного оборудования, работающего под нагрузкой. А также описана методика поверки акустико-эмиссионной системы «Малахит АС-15А».

– 15 ТУ 427615-002-27582906-07. Настоящие технические условия распростра-няются на систему акустико-эмиссионную «ЛОКТОН». Также приведены методы контроля системы.

– 16 АМ7030-2024-501. Руководство по эксплуатации систем акустико-эмиссионных «SAMOS» предназначенных для обнаружения и измерения сигналов акустической эмиссии (АЭ) и устанавливает методы и средства первичной и периодической поверки системы при внедрении в производство, при эксплуатации, хранении и после ремонта.

– 17 АМ116.0705.00.000 РЭ. Руководство по эксплуатации систем акустико-эмиссионных «DiSP». Предназначенных для обнаружения и регистрации источников акустической эмиссии (АЭ) в процессе АЭ обследований, состояния потенциально опасного оборудования работающего под нагрузкой. В руководстве по эксплуатации приведена методика поверка АЭ-систем «DiSP».

ряд нормативных документов по БЖД:

18 ГОСТ 12.2.032-78 ССБТ. «Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования».

19 ГОСТ 12.0.005-84 ССБТ. «Метрологическое обеспечение в области безопасности труда. Основные положения».

20 ГОСТ 12.2.007.7-75 ССБТ. «Устройства управления комплектные на напряжение до 1000 В. Требования безопасности».

21 ГОСТ 12.1.030-81 ССБТ. «Электробезопасность. Защитное заземление и зануление».

22 ГОСТ 12.1.038-82 ССБТ. «Электробезопасность. Предельно допустимые уровни напряжений прикосновения и токов».

23 ГОСТ 12.4.124-83 ССБТ. «Средства защиты от статического электричества. Общие технические требования».

24 ГОСТ 12.1.003-83 ССВТ. «Шум. Общие требования безопасности».

25 ГОСТ 12.1.036-81 ССБТ. «Шум. Допустимые уровни в жилых и общественных зданиях».

26 СНиП 11.12-77. «Защита от шума».

27 ГОСТ 12.1.005-88 ССБТ. «Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны».

28 ГОСТ 12.1.005-88 ССБТ. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны.

29 ГОСТ 12.4.021-75 ССБТ. «Системы вентиляционные. Общие требования»

30 ГОСТ 21.608-84 СПДС. Внутреннее электрическое освещение.

31 ГОСТ 24940-96 «Здания и сооружения. Методы измерения освещенности» (введен в действие постановлением Минстроя РФ от 31 июля 1996

32 ГОСТ 12.1.012-90 (1996) ССБТ. «Вибрационная безопасность. Общие требования».

33 СН 2.2.4/2.1.8.566-96. «Производственная вибрация, вибрация в помещениях жилых и общественных зданий».

34 ГОСТ 12.1.004-91 ССБТ. «Пожарная безопасность. Общие требования».

СНиП П-2-80 Требуемая степень огнестойкости .

СНиП 21.01-97 Пожарная безопасность зданий и сооружений.

35) – «Общая метрология» В.А. Кузнецов, Г.В. Ялунина. Издательство стандартов. 2001г. – (стр. 234.)

36) – «Методы и средства неразрушающего контроля» В.М. Лазарев. 2004г. – (стр.6 ,7,11, 20 и др.)

37). – «Неразрушающий контроль и диагностика» Клюев В.В., Соснин Ф.Р., Филинов В.Н. и др. Справочное издание под редакцией В.В. Клюева, М. 2003г. – (стр.301.)

38). – И. П. Белокур «Акустический контроль» – (стр.136.)

39). – Энциклопедический словарь. 2006г.

40). «Метрология, стандартизация, сертификация» А.Г. Сергеев Изд-во Логос 2001. – (стр.101.)

41). Грешников В.А Акустическая эмиссия / В.А. Грешников, Ю.Б. Дробот. – М.: Изд-во стандартов, 1976. – (стр. 236.) (10

42). Кузнецов Д.М. «Метод акустической эмиссии. В мире неразрушающего контроля».–2000г.- №1 (7). – (стр. 6-9.)

43). Трипалин А.С., Буйло С.И. «Акустическая эмиссия». Ростов-на-Дону, Изд-во РГУ, 1986. – ( стр. 160.)

44). Баранов В.И. «Акустико-эмиссионные приборы ядерной энергетики». М.: Атомиздат, 1980. – ( стр. .)

45). Баранов В.М. «Акустическая диагностика и контроль на предприятиях» ТЭК 5.2. Акустические сигналы и их описание. – ( стр. .)

46). Будников Г.А. и др. Акустический журнал, 1983, т. 29, вып. 4. – (стр. 561–562.) <http://www.himi.oglib.ru/bgl/9198.html>

47). «Акустическая эмиссия в экспериментальном материаловедении» Н.А.Семашко, В.И.Шпорт, Б.Н.Марьин и др. Под общей ред. Н.А.Семашко.- М. Машиностроение, 2002г. – ( стр. 240.) (11

48). Авт. свид. №1075145. Устройство для измерения спектральных характеристик сигналов акустической эмиссии./ Лыков Ю.И., Горбунов А.И., Овчарук В.Н.– 1984г. – (Бюл. ОИПОТЗ.- №7.)

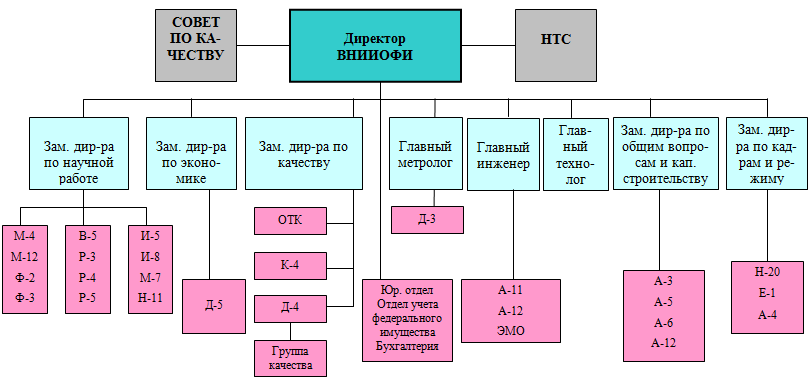
49). «Математические методы в технике и технологиях» – ММТТ -20. Сб.тр. 20-й междунар. науч. конф. – Ярославль, 2007г. – (стр. 65-67.)

50). «Акустико-эмиссионная диагностика конструкций» А.Н.Серьезнов, Л.Н.Степанова, В.В. Муравьев и др. Под ред.Л.Н.Степановой. -М.,Радио и связь, 2000г. – (стр. 280.)

51) Ботвина Л.Р., Гузь И.С., Иванова B.C., Кобзев В.А., Teрентьев В.Ф., Сб. Доклады IX Всесоюзной акустической конференции, Секция В, М., 1977г. – (стр. 183-165.)

# ПРИЛОЖЕНИЯ

## 1. СТРУКТУРНАЯ СХЕМА ФГУП «ВНИИОФИ»

****



Приложение 2. Цифровой осцилограф Tektronix TDS 2012B

Примеры применения осцилографа Tektronix TDS 2012B:

* Выполнение простых измерений
* Использование меню измерений для выполнения автоматических
* измерений.
* Измерение двух сигналов и расчет усиления.
* Применение автоматического выбора пределов измерений для
* исследования нескольких точек замера.
* Выполнение курсорных измерений.
* Измерение длительности импульса.
* Измерение времени нарастания.
* Анализ сигнала
* Просмотр сигнала с высоким уровнем шума.
* Использование функции усреднения для отделения сигнала от шума.
* Регистрация одиночного сигнала.
* Оптимизация сбора данных.
* Измерение задержки распространения сигнала.
* Синхронизация по длительности импульса.
* Синхронизация по видеосигналу.
* Синхронизация по полям и строкам видеосигнала.
* Использование функции окна для просмотра характеристик сигнала.
* Анализ дифференциального коммуникационного сигнала с помощью

математических функций.

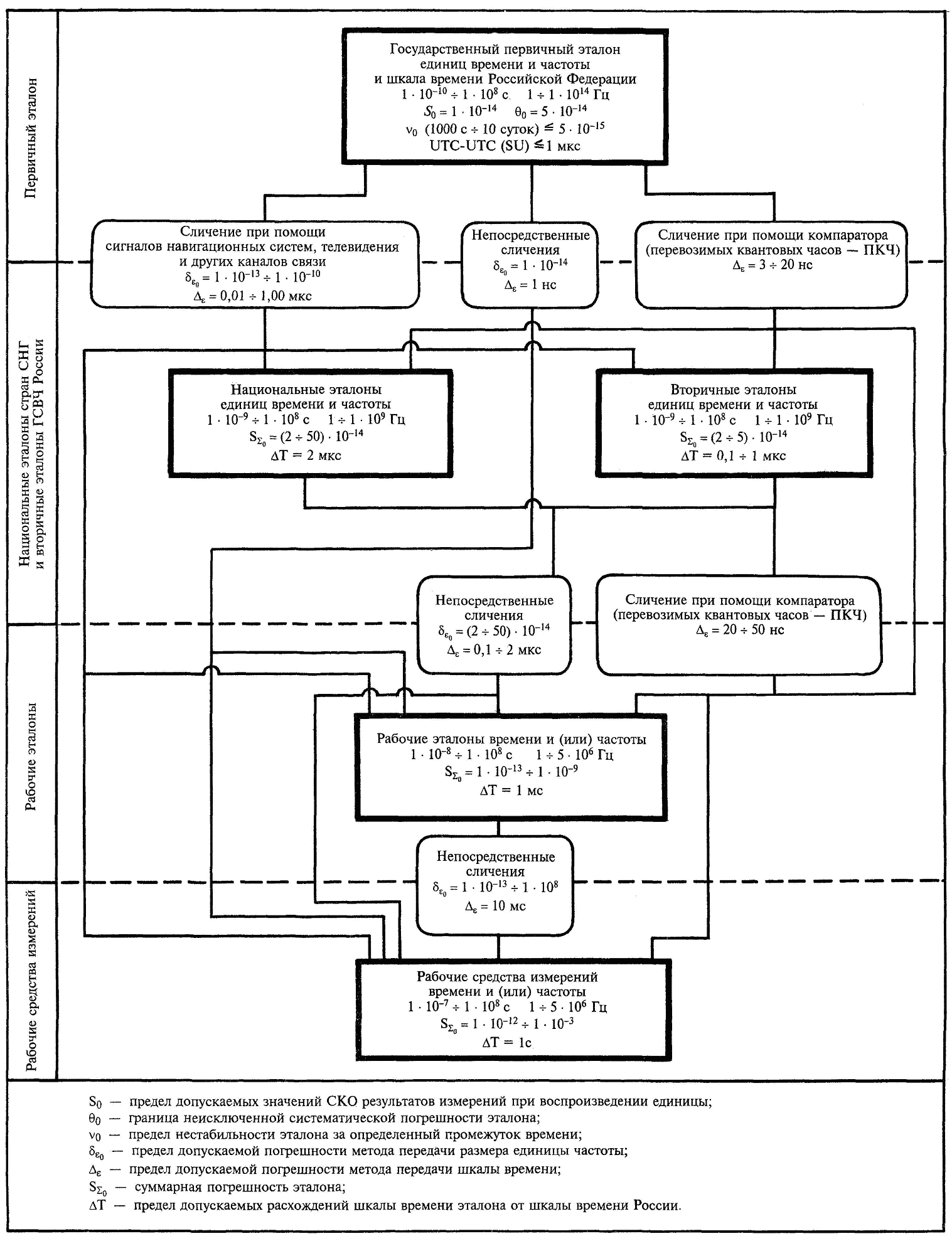
* Просмотр изменений импеданса в сети с использованием режима XY и

послесвечения.

**Государственная поверочная схема для средств измерений**

**времени и частоты**

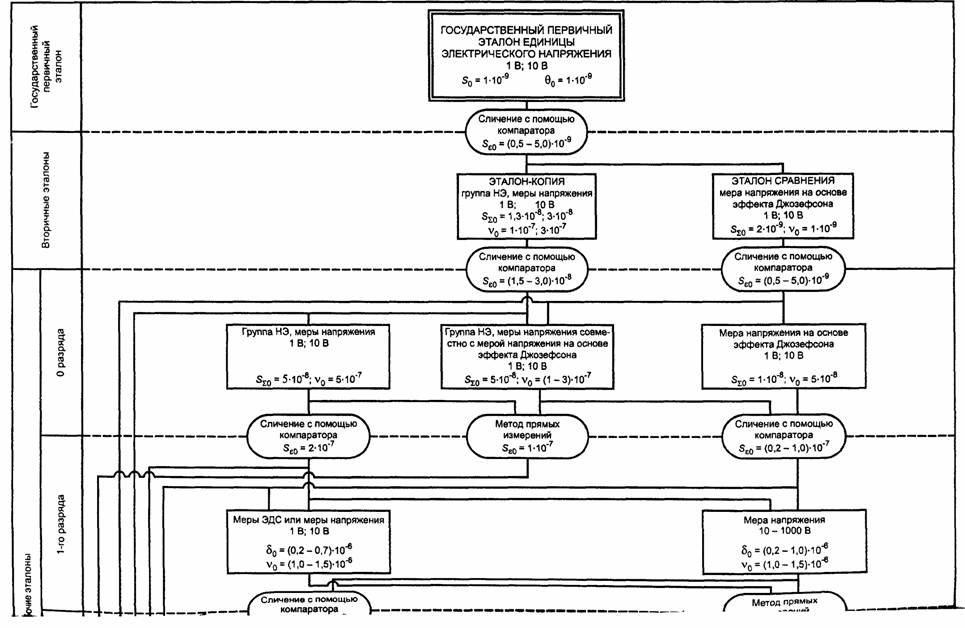
Приложение 3

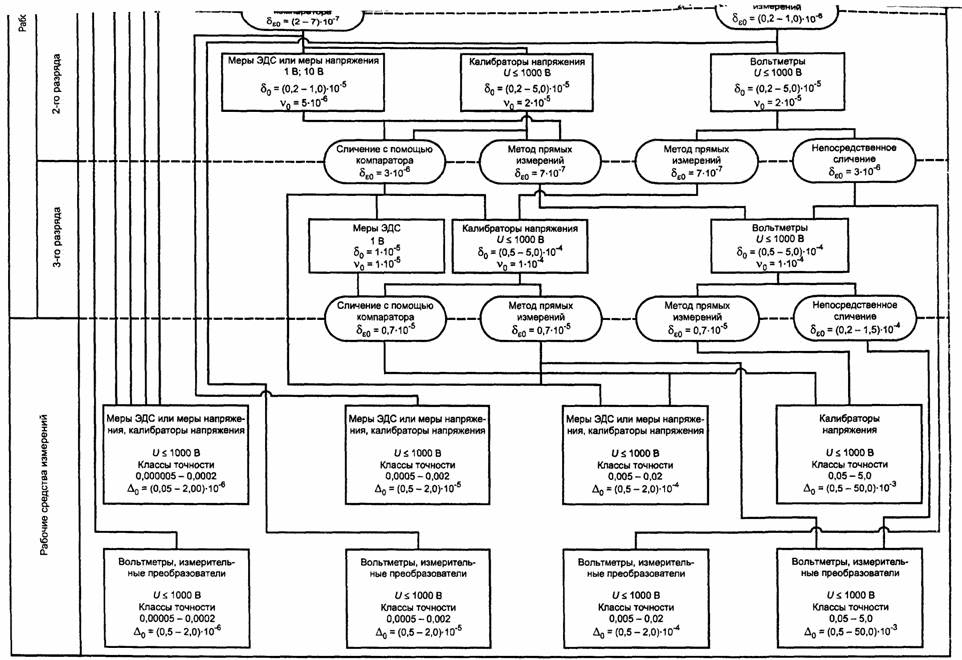


Приложение 4.

**Государственная поверочная схема для средств измерения**

**электродвижущей силы и постоянного напряжения**





**Приложение 5.**

**Основные нормативные документы по метрологии и акустико-эмиссионному контролю (исходная документация по АЭ и АЭ-контролю)**

Приложение № 5.

– Федеральный закон «Об обеспечении единства измерений».

– РМГ 29-99. (с изм. 1 2005) «Метрология. Основные требования и определения» (взамен ГОСТ 16263-70, МИ 2247-93). Рекомендации устанавливают основные термины и определения понятий в области метрологии.

– ПР 50.2.006-94. (с изм. 1.2001) «Порядок проведения поверки средств измерений» (взамен ГОСТ 8.438-81, ГОСТ 8.513-84). Документ распростра-няется на средства измерений при выпуске из производства и ремонта, подлежащие применению. И устанавливает требования к организации и порядку проведения поверки средств измерений.

– РМГ 51-2002. «ГСИ. Документы на методики поверки средств измерений. Основные положения» (взамен РД 50-660-88 и МИ 2526-99). Рекомендации распространяются на документы – методики поверки средств измерений и устанавливают их классификацию, порядок разработки, принятия (утверждения), регистрации и издания.

– ГОСТ 23829-85. «Контроль неразрушающий акустический». Стандарт устанавливает термины и определения понятий в области акустического неразрушающего контроля качества материалов и изделий.

– ГОСТ 23222-88. «Нормируемые метрологические характеристики средств измерений». Стандарт распространяется на средства измерений и устанавливает номенклатуру метрологических характеристик (МХ), правила выбора комплексов нормируемых МХ (НМХ) для конкретных типов средств измерений и способы нормирования МХ в нормативно-технических документах (НТД).

– ГОСТ 8.009-84. «ГСИ. Нормируемые метрологические характеристики средств измерений». Стандарт распространяется на средства измерений и устанавливает номенклатуру метрологических характеристик (МХ), правила выбора комплексов нормируемых МХ (НМХ) для конкретных типов средств измерений и способы нормирования МХ в нормативно-технических документах (НТД).

– ГОСТ 27655-88. «Акустическая эмиссия. Термины, определения и обозначения» (взамен ГОСТ 25.002-80). Настоящий стандарт устанавливает применяемые в науке, технике и производстве термины и определения основных понятий в области акустической эмиссии.

# – РД 03-299-99. «Требования к акустико-эмиссионной аппаратуре, используемой для контроля опасных производственных объектов». Документ предназначен для руководства при определении технических характеристик и параметров аппаратуры АЭ в процессе испытаний.

# – РД 03-300-99. «Требования к преобразователям акустической эмиссии, применяемым для контроля опасных производственных объектов». Настоящие Требования распространяются на контактные, прямые, пьезоэлектрические ПАЭ, используемые для контроля промышленных объектов, а также при исследованиях АЭ в лабораторных условиях, и устанавливают методы определения основных параметров ПАЭ.

– РД 03-131-97. «Руководящие документы Госгортехнадзора России правила организации и проведения акустико-эмиссионного контроля сосудов, аппаратов, котлов и технологических трубопроводов».

– ГОСТ 16465-70. «Сигналы радиотехнические измерительные. Термины и определения». Стандарт устанавливает термины и определения основных понятий в области измерительных радиотехнических сигналов, полученных с помощью измерительных генераторов тока и напряжения.

– ГОСТ 8.061-80. «ГСИ. Поверочные схемы. Содержание и построение» (взамен ГОСТ 8.061-73). Настоящий стандарт распространяется на поверочные схемы и устанавливает особые требования к их содержанию и построению.

– АМ 102.0012.00.000 ПС. Руководство по эксплуатации систем акустико-эмиссионных «Малахит АС-15А».

– АМ 116.0705.00.000 ТУ. Технические условия на системы акустико-эмиссионные «Малахит АС-15А». Предназначены для обнаружения и регистрации источников акустической эмиссии (АЭ), измерения параметров АЭ сигналов с целью контроля состояния потенциально опасного оборудования, работающего под нагрузкой. А также описана методика поверки акустико-эмиссионной системы «Малахит АС-15А».

– ТУ 427615-002-27582906-07. Настоящие технические условия распростра-няются на систему акустико-эмиссионную «ЛОКТОН». Также приведены методы контроля системы.

– 7030-2024-501. Руководство по эксплуатации систем акустико-эмиссионных «SAMOS» предназначенных для обнаружения и измерения сигналов акустической эмиссии (АЭ) и устанавливает методы и средства первичной и периодической поверки системы при внедрении в производство, при эксплуатации, хранении и после ремонта.

– АМ116.0705.00.000 РЭ. Руководство по эксплуатации систем акустико-эмиссионных «DiSP». Предназначенных для обнаружения и регистрации источников акустической эмиссии (АЭ) в процессе АЭ обследований, состояния потенциально опасного оборудования работающего под нагрузкой. В руководстве по эксплуатации приведена методика поверка АЭ-систем «DiSP».

– Федеральный закон о техническом регулировании.

**ряд нормативных документов по БЖД:**

ГОСТ 12.2.032-78 ССБТ. «Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования».

ГОСТ 12.0.005-84 ССБТ. «Метрологическое обеспечение в области безопасности труда. Основные положения».

ГОСТ 12.2.007.7-75 ССБТ. «Устройства управления комплектные на напряжение **до** 1000 В. Требования безопасности».

ГОСТ 12.1.030-81 ССБТ. «Электробезопасность. Защитное заземление и зануление».

ГОСТ 12.1.038-82 ССБТ. «Электробезопасность. Предельно допустимые уровни напряжений прикосновения и токов».

ГОСТ 12.4.124-83 ССБТ. «Средства защиты от статического электричества. Общие технические требования».

ГОСТ 12.1.003-83 ССВТ. «Шум. Общие требования безопасности».

ГОСТ 12.1.036-81 ССБТ. «Шум. Допустимые уровни в жилых и общественных зданиях».

СНиП 11.12-77. «Защита от шума».

ГОСТ 12.1.005-88 ССБТ. «Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны».

ГОСТ 12.1.005-88 ССБТ. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны.

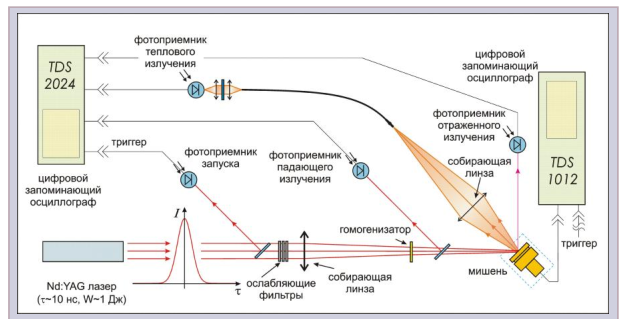
ГОСТ 12.4.021-75 ССБТ. «Системы вентиляционные. Общие требования».

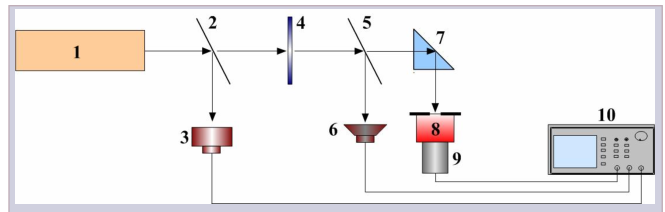
ГОСТ 12.1.012-90 (1996) ССБТ. «Вибрационная безопасность. Общие требования».

СН 2.2.4/2.1.8.566-96. «Производственная вибрация, вибрация в помещениях жилых и общественных зданий».

ГОСТ 12.1.004-91 ССБТ. «Пожарная безопасность. Общие требования».

Приложение 6

Схема экспериментальной установки



# Библиографический список

1. Лазерное возбуждение поверхностных акустических волн: Новое направление в оптико-акустической спектроскопии твердого тела. А.А. Карабутов. Успехи физических наук Том 147, вып. 3
2. Лазерный оптоакустический метод теплофизических характеристик конденсированных веществ при воздействии интенсивным пучком тяжелых ионов. А. П. Кузнецов, А. А. Голубев, К. Л. Губский, А. В. Канцырев, А. А. Смоляков, В. И. Туртиков
3. Лазерный оптоакустический метод индуцирования высокоэнергетических состояний и исследования фазовых переходов в металлах при высоких давлениях. А.А. Карабутов, А.Г. Каптиальный
4. Интернет ресурс: http://www.vniiofi.ru/
5. «Справочник: неразрушающий контроль том 4» под ред. В.В. Клюева
6. Методика поверки акустико-эмиссионных систем AMSY-4,-5,-6.
7. Цифровой запоминающий осциллограф серии TDS1000B и TDS 2000B Руководство по эксплуатации.
8. Лазерный оптико-акустический метод измерения пористости газотермических покрытий на металлической подложке А.А. Карабутов, Н.Б. Подымова
9. ФЗ N 184 от 27 декабря 2002 года Федеральный закон «Об обеспечении единства измерений»
10. ГОСТ 23829-85. «Контроль неразрушающий акустический». Стандарт устанавливает термины и определения понятий в области акустического неразрушающего контроля качества материалов и изделий.
11. ГОСТ 8.009-84. (взамен ГОСТ 23222-88) «ГСИ. Нормируемые метрологические характеристики средств измерений». Стандарт распространяется на средства измерений и устанавливает номенклатуру метрологических характеристик (МХ), правила выбора комплексов нормируемых МХ (НМХ) для конкретных типов средств измерений и способы нормирования МХ в нормативно-технических документах (НТД).
12. ГОСТ 27655-88. «Акустическая эмиссия. Термины, определения и обозначения» (взамен ГОСТ 25.002-80). Настоящий стандарт устанавливает применяемые в науке, технике и производстве термины и определения основных понятий в области акустической эмиссии.
13. ГОСТ 16465-70. «Сигналы радиотехнические измерительные. Термины и определения». Стандарт устанавливает термины и определения основных понятий в области измерительных радиотехнических сигналов, полученных с помощью измерительных генераторов тока и напряжения.
14. ГОСТ 8.061-80. «ГСИ. Поверочные схемы. Содержание и построение» (взамен ГОСТ 8.061-73). Настоящий стандарт распространяется на поверочные схемы и устанавливает особые требования к их содержанию и построению.
15. ГОСТ 8.207-76. Государственная система обеспечения единства измерений. Прямые измерения с многократными наблюдениями. Методы обработки результатов наблюдений. Основные положения
16. РМГ 29-99. (с изм. 1 2005) «Метрология. Основные требования и определения» (взамен ГОСТ 16263-70, МИ 2247-93). Рекомендации устанавливают основные термины и определения понятий в области метрологии.
17. РМГ 51-2002. «ГСИ. Документы на методики поверки средств измерений. Основные положения» (взамен РД 50-660-88 и МИ 2526-99). Рекомендации распространяются на документы – методики поверки средств измерений и устанавливают их классификацию, порядок разработки, принятия (утверждения), регистрации и издания.
18. ПР 50.2.006-94. (с изм. 1.2001) «Порядок проведения поверки средств измерений» (взамен ГОСТ 8.438-81, ГОСТ 8.513-84). Документ распростра-няется на средства измерений при выпуске из производства и ремонта, подлежащие применению. И устанавливает требования к организации и порядку проведения поверки средств измерений.
19. РД 03-299-99. «Требования к акустико-эмиссионной аппаратуре, используемой для контроля опасных производственных объектов». Документ предназначен для руководства при определении технических характеристик и параметров аппаратуры АЭ в процессе испытаний.
20. РД 03-300-99. «Требования к преобразователям акустической эмиссии, применяемым для контроля опасных производственных объектов». Настоящие Требования распространяются на контактные, прямые, пьезоэлектрические ПАЭ, используемые для контроля промышленных объектов, а также при исследованиях АЭ в лабораторных условиях, и устанавливают методы определения основных параметров ПАЭ.
21. РД 03-131-97. «Руководящие документы Госгортехнадзора России правила организации и проведения акустико-эмиссионного контроля сосудов, аппаратов, котлов и технологических трубопроводов».
22. АМ 102.0012.00.000 ПС. Руководство по эксплуатации систем акустико-эмиссионных «Малахит АС-15А».
23. АМ 116.0705.00.000 ТУ. Технические условия на системы акустико-эмиссионные «Малахит АС-15А». Предназначены для обнаружения и регистрации источников акустической эмиссии (АЭ), измерения параметров АЭ сигналов с целью контроля состояния потенциально опасного оборудования, работающего под нагрузкой. А также описана методика поверки акустико-эмиссионной системы «Малахит АС-15А».
24. 15 ТУ 427615-002-27582906-07. Настоящие технические условия распростра-няются на систему акустико-эмиссионную «ЛОКТОН». Также приведены методы контроля системы.
25. 16 АМ7030-2024-501. Руководство по эксплуатации систем акустико-эмиссионных «SAMOS» предназначенных для обнаружения и измерения сигналов акустической эмиссии (АЭ) и устанавливает методы и средства первичной и периодической поверки системы при внедрении в производство, при эксплуатации, хранении и после ремонта.
26. 17 АМ116.0705.00.000 РЭ. Руководство по эксплуатации систем акустико-эмиссионных «DiSP». Предназначенных для обнаружения и регистрации источников акустической эмиссии (АЭ) в процессе АЭ обследований, состояния потенциально опасного оборудования работающего под нагрузкой. В руководстве по эксплуатации приведена методика поверка АЭ-систем «DiSP».
27. ГОСТ 12.2.032-78 ССБТ. «Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования».
28. ГОСТ 12.0.005-84 ССБТ. «Метрологическое обеспечение в области безопасности труда. Основные положения».
29. ГОСТ 12.2.007.7-75 ССБТ. «Устройства управления комплектные на напряжение до 1000 В. Требования безопасности».
30. ГОСТ 12.1.030-81 ССБТ. «Электробезопасность. Защитное заземление и зануление».
31. ГОСТ 12.1.038-82 ССБТ. «Электробезопасность. Предельно допустимые уровни напряжений прикосновения и токов».
32. ГОСТ 12.4.124-83 ССБТ. «Средства защиты от статического электричества. Общие технические требования».
33. ГОСТ 12.1.003-83 ССВТ. «Шум. Общие требования безопасности».
34. ГОСТ 12.1.036-81 ССБТ. «Шум. Допустимые уровни в жилых и общественных зданиях».
35. СНиП 11.12-77. «Защита от шума».
36. ГОСТ 12.1.005-88 ССБТ. «Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны».
37. ГОСТ 12.1.005-88 ССБТ. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны.
38. ГОСТ 12.4.021-75 ССБТ. «Системы вентиляционные. Общие требования»
39. ГОСТ 21.608-84 СПДС. Внутреннее электрическое освещение.
40. ГОСТ 24940-96 «Здания и сооружения. Методы измерения освещенности» (введен в действие постановлением Минстроя РФ от 31 июля 1996
41. ГОСТ 12.1.012-90 (1996) ССБТ. «Вибрационная безопасность. Общие требования».
42. СН 2.2.4/2.1.8.566-96. «Производственная вибрация, вибрация в помещениях жилых и общественных зданий».
43. ГОСТ 12.1.004-91 ССБТ. «Пожарная безопасность. Общие требования».
44. СНиП П-2-80 Требуемая степень огнестойкости .
45. СНиП 21.01-97 Пожарная безопасность зданий и сооружений.
46. «Общая метрология» В.А. Кузнецов, Г.В. Ялунина. Издательство стандартов. 2001г. – (стр. 234.)
47. «Методы и средства неразрушающего контроля» В.М. Лазарев. 2004г. – (стр.6 ,7,11, 20 и др.)
48. «Неразрушающий контроль и диагностика» Клюев В.В., Соснин Ф.Р., Филинов В.Н. и др. Справочное издание под редакцией В.В. Клюева, М. 2003г. – (стр.301.)
49. И. П. Белокур «Акустический контроль» – (стр.136.)
50. Энциклопедический словарь. 2006г.
51. «Метрология, стандартизация, сертификация» А.Г. Сергеев Изд-во Логос 2001. – (стр.101.)
52. Грешников В.А Акустическая эмиссия / В.А. Грешников, Ю.Б. Дробот. – М.: Изд-во стандартов, 1976. – (стр. 236.) (10
53. Кузнецов Д.М. «Метод акустической эмиссии. В мире неразрушающего контроля».–2000г.- №1 (7). – (стр. 6-9.)
54. Трипалин А.С., Буйло С.И. «Акустическая эмиссия». Ростов-на-Дону, Изд-во РГУ, 1986. – ( стр. 160.)
55. Баранов В.И. «Акустико-эмиссионные приборы ядерной энергетики». М.: Атомиздат, 1980. – ( стр. .)
56. Баранов В.М. «Акустическая диагностика и контроль на предприятиях» ТЭК 5.2. Акустические сигналы и их описание. – ( стр. .)
57. Будников Г.А. и др. Акустический журнал, 1983, т. 29, вып. 4. – (стр. 561–562.) <http://www.himi.oglib.ru/bgl/9198.html>
58. «Акустическая эмиссия в экспериментальном материаловедении» Н.А.Семашко, В.И.Шпорт, Б.Н.Марьин и др. Под общей ред. Н.А.Семашко.- М. Машиностроение, 2002г. – ( стр. 240.) (11
59. Авт. свид. №1075145. Устройство для измерения спектральных характеристик сигналов акустической эмиссии./ Лыков Ю.И., Горбунов А.И., Овчарук В.Н.– 1984г. – (Бюл. ОИПОТЗ.- №7.)
60. «Математические методы в технике и технологиях» – ММТТ -20. Сб.тр. 20-й междунар. науч. конф. – Ярославль, 2007г. – (стр. 65-67.)
61. «Акустико-эмиссионная диагностика конструкций» А.Н.Серьезнов, Л.Н.Степанова, В.В. Муравьев и др. Под ред.Л.Н.Степановой. -М.,Радио и связь, 2000г. – (стр. 280.)
62. Ботвина Л.Р., Гузь И.С., Иванова B.C., Кобзев В.А., Teрентьев В.Ф., Сб. Доклады IX Всесоюзной акустической конференции, Секция В, М., 1977г. – (стр. 183-165.)