



Организация
Объединенных Наций по
вопросам образования,
науки и культуры



Международный
центр компетенций
в горнотехническом образовании
под эгидой ЮНЕСКО

**Международная специальная краткосрочная программа
Международного центра компетенций в горнотехническом
образовании под эгидой ЮНЕСКО**

**РАЗРАБОТАНА В РАМКАХ СОДЕЙСТВИЯ ЭКСПОРТА
ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ УСЛУГ**

«НЕРАЗРУШАЮЩИЕ МЕТОДЫ КОНТРОЛЯ»

Уровень программы: общий

Форма обучения: очная

Объем программы: 36 часов

**Руководитель
программы:**

д.т.н., Носов В.В.

**Составитель
программы:**

д.т.н., Носов В.В.



ПЕРВОЕ ВЫСШЕЕ ТЕХНИЧЕСКОЕ УЧЕБНОЕ ЗАВЕДЕНИЕ РОССИИ

**САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ
ГОРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ**

1. Общие положения

1.1. Цель программы

Цель программы – получение дополнительных знаний в области методов неразрушающего контроля (НМК) в соответствии с поставленными задачами обеспечения качества выпускаемых промышленностью изделий и подбором оборудования для реализации на практике выбранных методов, в области проектирования, изготовления и эксплуатации приборов и оптимизации технологий неразрушающего контроля, получение практических навыков проведения неразрушающего контроля, оценки его результатов, составления и формирования отчётов о проведении неразрушающего контроля.

1.2. Основные задачи программы

Получение дополнительных знаний, умений и навыков для реализации возможности:

- решать типовые задачи профессиональной деятельности на основе информационно-библиографической культуры с использованием информационно-коммуникационных технологий и с учетом основных требований информационной безопасности;
- проводить измерения и исследования различных объектов по заданной методике;
- проводить оценку технологичности и технологическому контролю простых и средней сложности конструкторских решений, разработке типовых процессов контроля параметров механических, акустоэлектронных, оптических и оптико-электронных деталей и узлов;
- организации входного контроля материалов и комплектующих изделий;
- проектирования и конструирования деталей измерительных приборов, элементов и устройств, основанных на различных физических принципах действия;
- применения принципов информационной оптимизации конструирования, положений и норм единой системы конструкторской документации (ЕСКД), современные программные средства для разработки и редакции проектно-конструкторской и технологической документации.

1.3. Категория слушателей

Студенты и аспиранты, обучающиеся по направлениям подготовки, связанным с производственными технологиями в области обеспечения качества и безопасной эксплуатации объектов химической, атомной, нефтехимической, нефте-, газо-, горнодобывающей, металлургической и транспортной промышленности, топливно-энергетического комплекса.

1.4. Планируемые результаты обучения

Результаты освоения Программы определяются сформированными у выпускника компетенциями, т.е. его способностью применять знания, умения, опыт и личностные качества в соответствии с задачами профессиональной деятельности. Дополнительные профессиональные компетенции сформированы на основе профессиональных стандартов, соответствующих профессиональной деятельности выпускников, а также на основе анализа требований к профессиональным компетенциям, предъявляемым к выпускникам на рынке труда, обобщения отечественного и зарубежного опыта.

№	Формируемые профессиональные компетенции	Основные показатели освоения модуля
1	Способность управлять проектом на всех этапах его жизненного цикла	Знать этапы жизненного цикла проекта; этапы разработки и реализации проекта; методы разработки и управления проектами

№	Формируемые профессиональные компетенции	Основные показатели освоения модуля
		<p>Уметь разрабатывать проект с учетом анализа альтернативных вариантов его реализации, определять целевые этапы, основные направления работ; объяснить цели и сформулировать задачи, связанные с подготовкой и реализацией проекта; управлять проектом на всех этапах его жизненного цикла</p> <p>Владеть навыками применения методик разработки и управления проектом; методами оценки потребности в ресурсах и эффективности проекта</p>
2	<p>Способность решать производственные и (или) исследовательские задачи на основе фундаментальных знаний в области диагностики состояния и обеспечения безопасной эксплуатации опасных технических объектов</p>	<p>Знать содержание естественнонаучных дисциплин, составляющих теоретическую основу модулей профильной подготовки</p> <p>Уметь решать профессиональные задачи в области контроля материалов, веществ и изделий, объектов химической, атомной, нефтехимической, нефте-, газо-, горнодобывающей, металлургической и транспортной промышленности, топливно-энергетического комплекса., применять фундаментальные знания для решения задач в междисциплинарных областях профессиональной деятельности</p> <p>Владеть навыком решения исследовательских и производственных задач, относящихся к области металлургии и металлообработки с применением фундаментальных знаний</p>
3	<p>Способность оценивать результаты научно-технических разработок, научных исследований и обосновывать собственный выбор, систематизируя и обобщая достижения в отрасли неразрушающего контроля и диагностики</p>	<p>Знать отечественный и международный опыт в области обеспечения безопасной эксплуатации посредством неразрушающего контроля объектов химической, атомной, нефтехимической, нефте-, газо-, горнодобывающей, металлургической и транспортной промышленности, топливно-энергетического комплекса.</p> <p>Уметь собирать, обрабатывать, анализировать и обобщать результаты экспериментов и исследований в области обеспечения безопасной эксплуатации посредством неразрушающего контроля материалов, веществ и изделий, объектов химической, атомной, нефтехимической, нефте-, газо-, горнодобывающей, металлургической и транспортной промышленности, топливно-энергетического комплекса.</p> <p>Владеть правилами анализа технической информации контроля объектов в области обеспечения безопасной эксплуатации посредством диагностирования объектов химической, атомной, нефтехимической, нефте-, газо-, горнодобывающей, металлургической и транспортной промышленности, топливно-энергетического комплекса на основе анализа научно-технической информации о технологических процессах</p>

№	Формируемые профессиональные компетенции	Основные показатели освоения модуля
4	Способность анализировать и учитывать разнообразие культур в процессе межкультурного взаимодействия	<p>Знать закономерности и особенности социально-исторического развития различных культур; особенности межкультурного разнообразия общества; правила и технологии эффективного межкультурного взаимодействия</p> <p>Уметь понимать и толерантно воспринимать межкультурное разнообразие общества; анализировать и учитывать разнообразие культур в процессе межкультурного взаимодействия</p> <p>Владеть методами и навыками эффективного межкультурного взаимодействия</p>
5	Способность организовать контроль образцов сырья, материалов, полуфабрикатов и готовой продукции на производстве	<p>Знать методики контроля технологических свойств материалов. Методы анализа и контроля и управления качеством продукции в области обеспечения безопасной эксплуатации посредством контроля объектов химической, атомной, нефтехимической, нефте-, газо-, горнодобывающей, металлургической и транспортной промышленности, топливно-энергетического комплекса. Управление качеством продукции металлургического производства</p> <p>Уметь применять статистические и физические методы обработки результатов неразрушающего контроля</p> <p>Владеть анализом качества методического и программного обеспечения контрольно-измерительных систем, работоспособности технологического и диагностического оборудования.</p>

1.5. Требования к результатам освоения программы

С целью достижения указанных в п. 1.4 дополнительных профессиональных компетенций, слушатели в процессе освоения Краткосрочной программы должны получить знания по вопросам основ функционирования и общих тенденций развития и модернизации существующих объектов в области обеспечения безопасной эксплуатации посредством контроля материалов, веществ, изделий, объектов химической, атомной, нефтехимической, нефте-, газо-, горнодобывающей, металлургической и транспортной промышленности, топливно-энергетического комплекса.; развить умения организовывать и проводить теоретические и экспериментальные исследования, связанные с определением информативных параметров технологических процессов применительно к различным объектам в области обеспечения безопасной эксплуатации посредством диагностирования объектов химической, атомной, нефтехимической, нефте-, газо-, горнодобывающей, металлургической и транспортной промышленности, топливно-энергетического комплекса.; приобрести навыки проведения теоретических и экспериментальных исследований, связанных с определением акустико-эмиссионных параметров технологических процессов применительно к различным объектам химической, атомной, нефтехимической, нефте-, газо-, горнодобывающей, металлургической и транспортной промышленности, топливно-энергетического комплекса.

1.6. Календарный учебный график

Условные обозначения:

Теоретическое обучение	час
Итоговая аттестация	ИА

Форма обучения	Дни /ауд.час														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
очная	2	6	6	6	6	-	-	4 ИА	-	-	-	-	-	-	-

1.7. Учебный план

№	Наименование модулей	Всего часов	В том числе					
			Лекции	Практические занятия (семинары)	Лабораторные занятия	Самостоятельная работа	Выездные мастер-классы	Итоговая аттестация
1	Модуль 1. Общие вопросы неразрушающего контроля материалов и изделий	2	2	-	-	-	-	-
2	Модуль 2. Стандартизация и метрологическое обеспечение НМК	8	4	2	-	2	-	-
3	Модуль 3. Основные контролируемые физико-механические свойства материалов и изделий	7	4	2	-	1	-	-
4	Модуль 4. Основные методы НК, их сходство и отличие	8	6	-	-	2	-	-
5	Модуль 5. Нормативная документация на НМК. Приборы, меры, стандартные образцы для обеспечения единства измерений и воспроизводимости их результатов. Организация НМК в условиях действующего производства и при научных исследованиях	7	4	-	-	3	-	-
6	Проведение аттестационных мероприятий	4	-	-	-	-	-	4
	Всего	36	20	4	-	8	-	4

1.8. Объем программы и виды учебной работы

Вид учебной работы	Часы
Лекционные занятия	20
Практические занятия	4
Выездные мастер-классы	-
Итоговая аттестация	4
Всего очных занятий	30
Самостоятельная работа, включая подготовку к итоговой аттестации	10
Общий объем программы	36

2. Содержание обучения

2.1. Содержание обучения по программе:

№	Наименование профессионального модуля	Содержание учебного материала	Объем часов
1	Модуль 1. Общие вопросы неразрушающего контроля материалов и изделий.	Свойства материалов и их характеристики. Задачи НМК в производственном контроле и при научных исследованиях. Применение НМК при статистических методах контроля на различных переделах технологических процессов.	2
2	Модуль 2. Стандартизация и метрологическое обеспечение НМК	Нормативная документация на НМК. Приборы, меры, стандартные образцы для обеспечения единства измерений и воспроизводимости их результатов. Метрологическое обеспечение методов и средств НМК.	8
3	Модуль 3. Основные контролируемые физико-механические свойства природной среды, веществ, материалов и изделий	Виды материалов и изделия из них. Физико-механические характеристики изделий из различных материалов: прочностные и упругие характеристики, твердость, электрические и магнитные свойства, плотность, пористость, кажущаяся плотность, влажность, термические свойства, способность поглощать и рассеивать гамма-излучение. Взаимосвязь между различными физико-механическими характеристиками	7
4	Модуль 4. Основные виды НМК, их классификация, сходство и отличие	Акустические методы контроля. Электромагнитные методы контроля. Вихретоковые методы контроля. Радиоволновые методы контроля. Тепловые методы контроля. Радиационные методы контроля.	8
5	Модуль 5. Нормативная документация на НМК. Приборы, меры, стандартные образцы для обеспечения единства измерений и воспроизводимости их результатов. Организация НМК в условиях действующего производства и при научных исследованиях .	Разработка методик контроля. Разработка средств контроля. Разработка метрологического обеспечения контроля. Сертификация средств контроля. Стандартизация методов контроля. Периодическая поверка и ремонт средств контроля. Контроль сварных кон-	7

№	Наименование профессионального модуля	Содержание учебного материала	Объем часов
		струкций, композиционных материалов, строительных изделий в процессе производства и эксплуатации. Контроль сосудов давления, трубопроводов, железобетонных и сварных металлоконструкций, глубоководных сооружений, металлургических слябов, метало-полимерных деталей машин.	
6	Проведение аттестационных мероприятий	Тестовые, письменные и устные задания	4

2.2 Рабочие программы дисциплин (модулей) – представлены в Приложении 1 к образовательной программе.

2.3. Формы аттестаций по программе

Для оценки качества усвоения знаний, умений и опыта деятельности предусмотрены текущий и итоговый виды контроля.

Текущий контроль успеваемости осуществляется на основе письменных работ, которые содержат контрольные вопросы по каждому изучаемому модулю и должны быть сданы обучающимися в ходе учебного периода.

Форма итоговой аттестации по программе – **зачет**.

К зачету допускаются только те слушатели, которые успешно сдали все задания и отчеты по лабораторным работам по изученным модулям.

Зачет поводят в простой письменной форме по билетам. Структура всех билетов одинакова и содержит два теоретических вопроса и практическое задание.

При подготовке ответа на каждый вопрос следует придерживаться структуры соответствующей темы, предложенной в разделе «Содержание обучения по программе» Рабочей программы.

При подготовке к зачету целесообразно составить план (схему) ответа на каждый вопрос и зафиксировать его на каком-либо носителе. По отдельным этапам такого плана полезно записать основные тезисы. Не следует стараться выучить весь материал наизусть. Важно понять материал, чему будет способствовать концентрация мыслей на ключевых определениях и понятиях.

2.4 Оценочные материалы:

2.4.1. Примерный перечень вопросов/заданий для подготовки к промежуточной аттестации:

1. Что такое композиционный материал?
2. Какие материалы относятся к группе изотропных композиционных материалов?
3. Какие задачи решает неразрушающий контроль физико-механических характеристик и структуры материалов?
4. Использование каких методов изучения свойств материала предполагает исследование механики материалов.
5. Какие волокна армирования композиционного материала обладают наибольшей удельной прочностью?

6. К чему приводит уменьшение размера испытываемых образцов композиционных материалов?
7. Какой материал не является термопластическим полимером?
8. Как изменяется прочность пироуглерода в результате термообработки?
9. Как называется способ получения углерод-углеродных композиционных материалов, при котором происходит пропитка исходных армирующих каркасов высоко углеводородсодержащими смолами с последующей термической обработкой?
10. Чем можно добиться высокой адгезионной прочности композита?
11. Что такое «теория эффективного модуля»?
12. Как называется изменение во времени напряжений при неизменных деформациях?
13. Какое свойство вязкоупругого материала отражают ядро и функция релаксации?
14. Чем отличается поведение вязкоупругого материала от поведения упругого?
15. Значение какой характеристики даёт значение отношения измеряемых в опыте величин продольной и поперечной деформаций при $t = 0$?
16. Что такое макротрещины?
17. Какой класс задач расчета на прочность и исследования повреждаемости относится к микротрещинам?
18. От чего зависит величина диссипируемой энергии при деформировании вязкоупругих материалов?
19. Чему равно число упругих постоянных необходимых для описания связи напряжений и деформаций в общем случае анизотропии?
20. Какая величина используется при оценке прочности изотропного материала в условиях сложного напряженного состояния?
21. Какое уравнение может быть использовано при расчете оболочковых конструкций?

2.4.2. Примерный перечень тем для самоподготовки:

Раздел 1. Общие вопросы неразрушающего контроля материалов и изделий

1. Основные механические характеристики материалов.
2. Обобщённое уравнение теории упругости анизотропного материала.
3. Основные методы определения механических характеристик материалов.
4. Основные модели, описывающие поведение композиционных материалов.
5. Применение НКФМХ и СМ при статистических методах контроля на различных стадиях производства и переделах технологических процессов.

Раздел 2 Стандартизация и метрологическое обеспечение НМК

1. Нормативная документация на НКФМХ и СМ.
2. Приборы, меры, стандартные образцы для обеспечения единства измерений и воспроизводимости их результатов.
3. Метрологическое обеспечение методов и средств НКФМХ и СМ.

Раздел 3. Основные контролируемые физико-механические свойства природной среды, веществ, материалов и изделий

1. Виды материалов и изделия из них.
2. Физико-механические характеристики изделий из различных материалов.
3. Прочностные и упругие характеристики, твердость, электрические и магнитные свойства,
4. Плотность, пористость, кажущаяся плотность, влажность, термические свойства, способность поглощать и рассеивать гамма-излучение.
5. Взаимосвязь между различными физико-механическими характеристиками.

Раздел 4. Основные методы НК, их классификация, сходство и отличие.

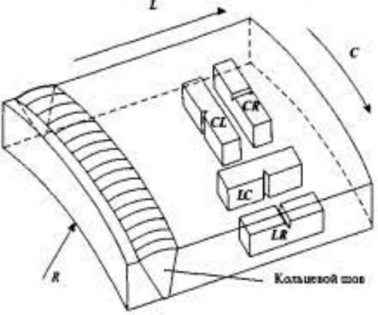
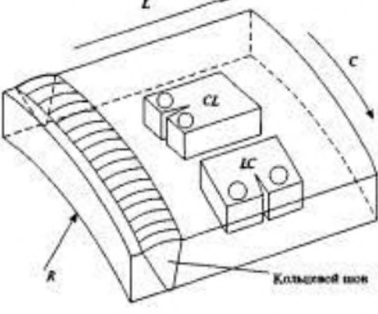
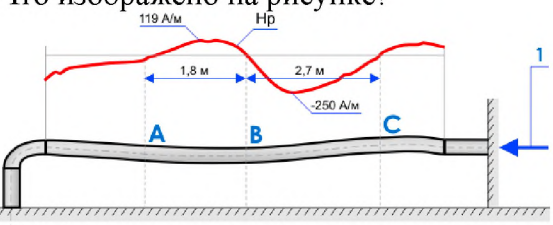

1. Вихревые методы контроля. Физические основы и область применения метода вихревых токов. Классификация преобразователей. Амплитудный, фазовый, амплитудно-фазовый и спектральный методы контроля. Методы высших гармоник и модуляционного анализа. Вихревые дефектоскопы
2. Магнитные методы неразрушающего контроля. Природа диа-, пара- и ферромагнетизма. Физические основы магнитных методов контроля. Магнитопорошковый, магнитографический, феррозондовый, индукционный, магниторезисторный, с использованием эффекта Холла методы. Способы намагничивания. Магнитные дефектоскопы, толщиномеры, коэрциметры.
3. Тепловые методы неразрушающего контроля. Физические основы пассивных и активных методов теплового контроля. Способы и устройства теплового нагружения, регистрации тепловых полей. Преобразователи теплового излучения.
4. Радиационные методы контроля. Физические основы взаимодействия ионизирующих излучений с веществом. Рентгеновское, тормозное, гамма-излучение. Радиографический, радиоскопический, радиометрический методы. Рентгеновские аппараты, гамма-дефектоскопы, бетатроны, микротроны и линейные ускорители заряженных частиц. Радиоскопические и радиометрические системы.
5. Электрические методы неразрушающего контроля. Физические основы и область применения методов. Электропотенциальный, электроемкостной, трибоэлектрический, термоэлектрический методы, метод экзоэлектронной эмиссии.
6. Оптические методы неразрушающего контроля.

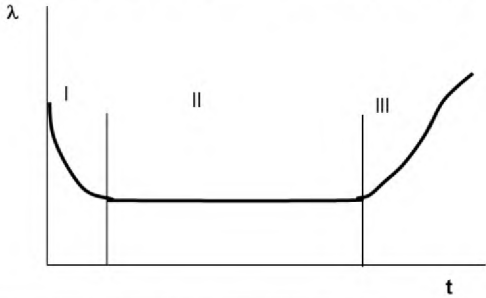
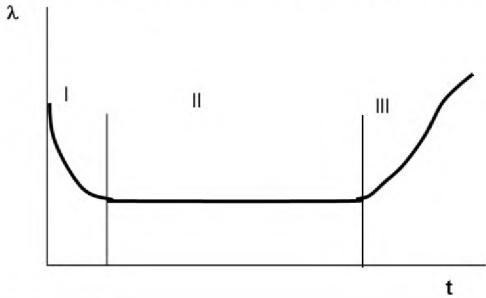
Раздел 5. Нормативная документация на НМК. Приборы, меры, стандартные образцы для обеспечения единства измерений и воспроизводимости их результатов. Организация НМК в условиях действующего производства и при научных исследованиях

1. Контроль сварных конструкций, композиционных материалов, строительных изделий в процессе производства и эксплуатации.
2. Контроль сосудов давления, трубопроводов.
3. Контроль железобетонных и сварных металлоконструкций.
4. Контроль глубоководных сооружений.
5. Контроль металлургических слябов, металлополимерных деталей машин.

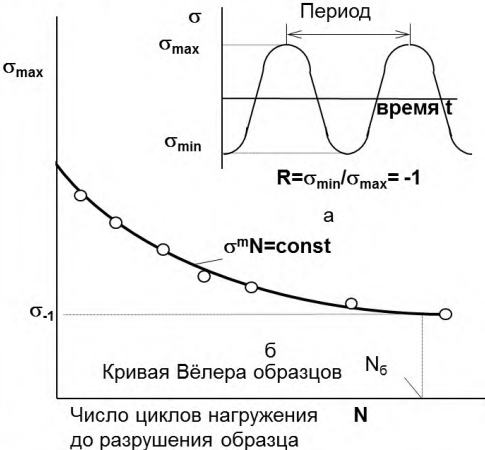
2.4.3. Примерные тестовые задания к итоговой аттестации

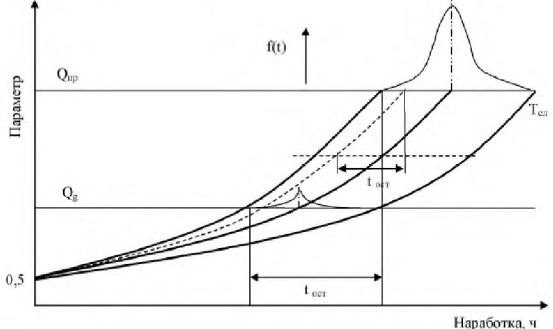
№ п/п	Вопросы	Варианты ответов
1	Основным источником информации о характеристиках усталостной прочности (долговечности) газопроводов, согласно СТО Газпром 2-3.5-252-2008, являются...	<ol style="list-style-type: none">1. диаграммы усталостной прочности (кривые Велера) и диаграммы предельных амплитуд.2. данные статических испытаний стандартных образцов;3. диаграммы усталостной прочности (кривые Журкова) и диаграммы предельных амплитуд.4. Всё перечисленное

№ п/п	Вопросы	Варианты ответов
2	<p>Что изображено на рисунке?</p> 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Ориентация образцов на KCV и изгибных образцов на трещиностойкость; 2. Ориентация образцов для испытаний на внецентренное растяжение (образец на трещиностойкость, тип 3 по ГОСТ 25.508-85); 3. Фрагмент трубопровода с кольцевым сварным швом, подвергаемый испытаниям на трещиностойкость; 4. Фрагмент трубопровода с кольцевым сварным швом, подвергаемый испытаниям на статическую прочность.
3	<p>Что изображено на рисунке?</p> 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Ориентация образцов на KCV и изгибных образцов на трещиностойкость; 2. Ориентация образцов для испытаний на внецентренное растяжение (образец на трещиностойкость, тип 3 по ГОСТ 25.508-85); 3. Фрагмент трубопровода с кольцевым сварным швом, подвергаемый испытаниям на трещиностойкость; 4. Фрагмент трубопровода с кольцевым сварным швом, подвергаемый испытаниям на статическую прочность.
4	<p>Что изображено на рисунке?</p> 	<ol style="list-style-type: none"> 1. График зависимости скорости звука от координаты трубопровода; 2. Функция зависимости магнитной индукции от координаты трубопровода; 3. Фрагмент распределения магнитного поля вдоль участка газопровода, имеющего видимый прогиб; 4. Эпюра распределения фактической деформации газопровода.
5	<p>Что изображено на рисунке?</p> 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Многоканальная система ультразвукового контроля с пьезопреобразователями АЭ, установленными на трубопроводе; 2. Многоканальная автоматизированная акустико-эмиссионная система с преобразователями АЭ, установленными на трубопроводе; 3. Система магнитного мониторинга; 4. Многоканальная система токовых-резового контроля.

№ п/п	Вопросы	Варианты ответов
6	При каком подходе к оценке показателей надёжности все факторы, влияющие на поведение модели, (параметры модели и параметры окружающей среды, начальные условия и т.п.) считают вполне определёнными.	<ol style="list-style-type: none"> 1. детерминистическом; 2. вероятностном (стохастическом); 3. объединённом; 4. эвристическом.
7	Подход к оценке показателей надёжности, включающий оценку несущей способности и ресурса участка газопровода в рамках детерминистических методов и получение оценок вероятностей возникновения аварийных ситуаций на участках газопроводов, вызванных различными факторами, называется...	<ol style="list-style-type: none"> 1. детерминистическим; 2. вероятностным (стохастическим); 3. объединённым; 4. эвристическим.
8	Совместное использование детерминистических и вероятностных расчетных моделей...	<ol style="list-style-type: none"> 1. понижает достоверность оценок, способствует снижению информативности моделей и эффективности принимаемых по результатам анализа решений; 2. повышает достоверность оценок, способствует обоснованности и оптимизации принимаемых по результатам анализа решений; 3. не влияет на эффективность решений; 4. свидетельствует о недоработке моделей объекта диагностирования.
9	<p>Как называется период II на диаграмме зависимости интенсивности отказов от времени эксплуатации технических объектов?</p> 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Период приработки; 2. Период нормальной эксплуатации; 3. Период износа; 4. Период повышенной производительности.
10	<p>Как называется период I на диаграмме зависимости интенсивности отказов от времени эксплуатации технических объектов?</p> 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Период повышенной производительности; 2. Период нормальной эксплуатации; 3. Период износа; 4. Период приработки.

№ п/п	Вопросы	Варианты ответов
11	<p>Что изображено на рисунке?</p> 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Модель нагружения сварного шва; 2. Виды дефектов в сварном шве; 3. Схема изменения структуры по участкам в сварном шве; 4. Всё выше перечисленное.
12	<p>Что изображено на рисунке?</p> 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Фрактограммы роста концентрации структурных элементов в зонах сварного соединения; 2. Демонстрирующие вторую стадию мелкодисперсного разрушения фрактограммы роста концентрации микротрещин в упруго деформируемом сварном соединении; 3. Демонстрирующие первую стадию мелкодисперсного разрушения фрактограммы роста концентрации микротрещин в упруго деформируемом сварном соединении; 4. Ничего из вышеприведённого.
13	<p>Предельная чувствительность акустико-эмиссионной аппаратуры по теоретическим оценкам составляет...</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. порядка $1 \cdot 10^{-3} \text{ мм}^2$, что соответствует выявлению скачка трещины протяженностью 1 мкм на величину 1 мкм; 2. порядка $1 \cdot 10^{-6} \text{ мм}^2$, что соответствует выявлению скачка трещины протяженностью 1 мкм на величину 1 мкм; 3. порядка 1 мм^2, что соответствует выявлению скачка трещины протяженностью 1 мкм на величину 1 мкм; 4. порядка $1 \cdot 10^{-6} \text{ мм}^2$, что соответствует выявлению скачка трещины протяженностью 1 мм на величину 1 мм.
14	<p>В зависимости от типа используемой модели объекта диагностирования распознавание его состояния производят на основе подхода: ...</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. вероятностного (статистического) и детерминистического; 2. лабораторного и производственного; 3. теоретического и практического; 4. научного и бытового.

№ п/п	Вопросы	Варианты ответов
15	Метод АЭ контроля обеспечивает ...	<ol style="list-style-type: none"> 1. обнаружение и регистрацию не только развивающихся дефектов, что позволяет классифицировать дефекты по степени их опасности; 2. обнаружение любых дефектов, что позволяет классифицировать дефекты не по размерам, а по степени их опасности; 3. обнаружение и регистрацию только развивающихся дефектов, что позволяет классифицировать дефекты не по размерам, а по степени их опасности; 4. обнаружение и регистрацию только развивающихся дефектов, что позволяет классифицировать дефекты по размерам;
16	Согласно ПБ 03-593-03, АЭ контроль проводят ...	<ol style="list-style-type: none"> 1. во всех случаях, когда нормативно-технической документацией на объект предусмотрено проведение неразрушающего контроля одним из регламентируемых методов, но по техническим или другим причинам проведение такого контроля невозможно; 2. во всех случаях, когда он предусмотрен нормативно-техническими документами или технической документацией на объект; 3. вместо регламентируемых методов неразрушающего контроля по согласованию в установленном порядке; 4. Всё вышеперечисленное.
17	<p>Что изображено на рисунке?</p>  <p>а</p> <p>б</p> <p>Кривая Вёлера образцов</p> <p>Число циклов нагружения до разрушения образца N</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Модель цикла изменения напряжений и кривая усталости Вёлера; 2. Модель параметры и коэффициент асимметрии цикла изменения напряжений и кривая усталости Вёлера; 3. Кривая усталости Вёлера; 4. Характеристики цикла изменения напряжений.

№ п/п	Вопросы	Варианты ответов
18	В зависимости от типа используемой модели объекта диагностирования распознавание его состояния производят на основе подхода:...	<ol style="list-style-type: none"> 1. вероятностного (статистического) и детерминистического; 2. лабораторного и производственного; 3. теоретического и практического; 4. научного и бытового.
19	Методология решения задач диагностики основана на ...	<ol style="list-style-type: none"> 1. принципах познавательной деятельности; 2. способах контроля сигналов; 3. построении моделей объекта диагностирования; 4. методах неразрушающего контроля;
20	<p>Что изображено на рисунке?</p> 	<ol style="list-style-type: none"> 1. График изменения параметра состояния объекта контроля; 2. Графическая интерпретация неопределённости оценки ресурса; 3. Графическое определение остаточного ресурса; 4. Всё выше перечисленное.

2.4.4 Критерии оценивания

Критерии оценок промежуточной аттестации

Оценка	Описание
Зачтено	Посещение более 50 % лекционных и лабораторных занятий; обучающийся твердо знает материал, грамотно и по существу излагает его, не допуская существенных неточностей в ответе на вопрос; все предусмотренные программой обучения задания выполнены, качество их выполнения достаточно высокое; в течение курса выполнил работу.
Не зачтено	Посещение менее 50 % лекционных и лабораторных занятий; обучающийся не знает значительной части материала, допускает существенные ошибки в ответах на вопросы; большинство предусмотренных программой обучения заданий не выполнено, качество их выполнения оценено числом баллов, близким к минимальному.

Критерии оценок итоговой аттестации: примерная шкала оценивания знаний по выполнению заданий зачета:

Оценка	
Не зачтено	Зачтено
Посещение менее 50 % лекционных и практических занятий	Посещение не менее 50 % лекционных и практических занятий
Обучающийся не знает значительной части материала, допускает существенные ошибки в ответах на вопросы	Обучающийся хорошо знает материал, грамотно и по существу излагает его, допуская некоторые неточности в ответе на вопрос.

Не зачтено	Зачтено
Не умеет находить решения большинства предусмотренных программой обучения заданий	Уверенно находит решения предусмотренных программой обучения заданий
Большинство предусмотренных программой обучения заданий не выполнено	Предусмотренные программой обучения задания успешно выполнены

2.5. Учебно-методические материалы (в том числе конспекты лекций) представлены в Приложении 2 к образовательной программе.

2.6. Вид документа, подтверждающий прохождение обучения

После успешного окончания обучения выдается сертификат о прохождении Международной специальной краткосрочной программы под эгидой Международного центра ЮНЕСКО: «Неразрушающие методы контроля».

3. Организационно-педагогические условия реализации программы:

3.1. Материально-технические условия реализации программы

Для реализации программы при проведении занятий лекционного типа и практических занятий используются специализированные аудитории, оснащенные мультимедийными проекторами и комплектом аппаратуры, позволяющей демонстрировать текстовые и графические материалы. Лабораторные помещения оснащены специальным оборудованием, лабораторными установками, аналитическим оборудованием. Помещение для самостоятельной работы, групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации: 15 посадочных мест, доступ к сети «Интернет», в электронную информационно-образовательную среду Университета.

3.2. Кадровое обеспечение образовательного процесса по программе

№	Фамилия Имя Отчество	Образование (вуз, год окончания, специальность)	Должность, ученая степень, звание. Стаж работы в данной или аналогичной области	Перечень основных научных и учебно-методических публикаций
Руководитель программы				
1	Носов Виктор Владимирович	Высшее, Ленинградский политехнический институт, 1982 г., механик	зав. кафедрой приборостроения, доктор технических наук, профессор, стаж работы более 20 лет	Автор более 280 научных работ
Профессорско-преподавательский состав программы				
2	Потапов Анатолий Иванович	Высшее, Санкт-петербургский государственный университет. 1980 г., приборист	Доктор технических наук, профессор, стаж 50 лет	Автор более 700 научных работ
3	Сясько Владимир Александрович	Высшее, Белорусский политехнический университет. 1988 г., электронщик	Доктор технических наук, профессор, стаж работы более 20 лет	Автор более 100 научных работ.

Приложение 1
к образовательной программе –
«Международная специальная краткосрочная
Программа под эгидой Международного центра ЮНЕСКО
«Неразрушающие методы контроля»

Рабочая программа модуля

«Общие вопросы неразрушающего контроля материалов и изделий»

1. Содержание модуля

Модуль рассматривает основные свойства материалов и их характеристики, задачи НМК в производственном контроле и при научных исследованиях. Разобраны основные примеры применения НМК при статистических методах контроля на различных переделах технологических процессов.

2. Матрица формирования профессиональных компетенций

Процесс изучения модуля «Общие вопросы неразрушающего контроля материалов и изделий» направлен на формирование следующих компетенций:

№ п/п	Формируемые профессиональные компетенции	Кол-во часов	Основные показатели освоения модуля
1	Способность управлять проектом на всех этапах его жизненного цикла	2	Знать этапы жизненного цикла проекта; этапы разработки и реализации проекта; методы разработки и управления проектами
			Уметь разрабатывать проект с учетом анализа альтернативных вариантов его реализации, определять целевые этапы, основные направления работ; объяснить цели и сформулировать задачи, связанные с подготовкой и реализацией проекта; управлять проектом на всех этапах его жизненного цикла
			Владеть навыками применения методик разработки и управления проектом; методами оценки потребности в ресурсах и эффективности проекта

3. Структура и содержание модуля

№ п/п	Наименование модуля	Всего, час	в том числе			Форма контроля
			ЛК	ПР	СР	
1	Общие вопросы неразрушающего контроля материалов и изделий.	2	2	–	–	–

4. Перечень занятий семинарского типа

Занятия семинарского типа в данном модуле не предусмотрены.

5. Учебно-методическое обеспечение

5.1. Основная литература

1. Носов В.В. Диагностика машин и оборудования: Учебное пособие 2016, 2-е изд. Испр и доп, «Лань», СПб, - 376 с. <https://lanbook.com/catalog/mashinostroenie/diagnostika-mashin-i-oborudovaniya-72902234/> //
2. Носов В.В. Механика композиционных материалов. Лабораторные работы и практические занятия: Учебное пособие. Изд-во «Лань», СПб, 2013, 2-е изд. перераб. и доп., 240 с.: ил. <https://lanbook.com/catalog/inzhenerno-tehnicheskie-nauki/mehanika-kompozicionnyh-materialov-laboratornye-raboty-i-prakticheskie-zanyatiya-60945806/>
3. Носов В.В., Матвиев И.В. Механика неоднородных материалов. Учебное пособие. Изд-во «Лань», СПб, 2017, 2-е изд. испр. и доп. , 276 с <https://lanbook.com/catalog/mashinostroenie/mehanika-neodnorodnyh-materialov-72893571/>
4. Носов В.В, Ямилова А.Р. Метод акустической эмиссии. Учебное пособие. Изд-во «Лань», СПб, 2017, 304 с. <https://lanbook.com/catalog/mashinostroenie/metod-akusticheskoy-emissii-72893573///>
5. Носов В.В. Принципы оптимизации технологий акустико-эмиссионного контроля прочности промышленных объектов // Дефектоскопия, № 7, 2016, с. 52-67

5.2. Дополнительная литература

1. Физические основы акустического контроля: Учебно- методический комплекс / Санкт-Петербургский горный университет. Сост.: А.И. Потапов, В.В. Носов. СПб, 2016. 151 с. <http://old.spmi.ru/system/files/lib/uch/metodichki/2016-205.pdf>
2. Объекты и технологии акустико-эмиссионного контроля и диагностики: Учебно-методический комплекс/, Санкт-Петербургский горный университет, Сост. В.В.Носов СПб, 2018, 148 с. http://irbis.spmi.ru/jirbis2/index.php?option=com_irbis&view=irbis&Itemid=374&task=set_static_req&bns_string=NWPIB,ELC,ZAPIS&req_irb=<.>I=6%D0%9F5%2E2%2F%D0%9E%2D29%2D069024892<.>
3. Носов В. В., Матвиев И. В., Ямилова А. В., Зеленский Н. А., Оценка состояния технических объектов на основе моделирования прочностной неоднородности материала / Моделирование, оптимизация и информационные технологии, № 3, Т 21, 2016. С 1 - 20. <https://moit.vivt.ru/?cat=2357&lang=ru>
4. Способ оценки прочности элементов сварного корпуса подводного аппарата: Пат. 2617195 РФ, МПК(51) G01N 29/14 (2006.01)/ - Оpubл. 21.04.2017. Бюл. № 12 <http://www.findpatent.ru/patent/261/2617195.html>
5. Носов В.В., Самигуллин Г.Х., Ямилова А.Р., Зеленский Н.А. Микромеханическая модель акустической эмиссии как методологическая основа прогнозирования

разрушения сварных соединений// Нефтегазовое дело, 2016, т.14, № 1, С. 244-253
<http://ngdelo.ru/files/ngdelo/2016/1/ngdelo-1-2016-p244-253.pdf>

6. Носов В.В., Ямилова А.Р., Зеленский Н.А., Матвиев И.В. Оптимизация акустико-эмиссионного контроля прочности сварных соединений// Вестник МЭИ, 2017, № 2. С. 96-101. <http://vestnik.mpei.ru/vestnik/archive/article/472/>

7. Носов В.В., Ямилова А.Р., Зеленский Н.А., Матвиев И.В. Методика неразрушающего акустико-эмиссионного контроля прочности сварных соединений// Вестник МЭИ, 2017, № 3. С. 92-101 <http://vestnik.mpei.ru/vestnik/archive/article/487/>

8. Носов В.В., Номинас С.В., Зеленский Н.А. Оценка прочности сосудов давления на основе использования явления акустической эмиссии// Научно-технические ведомости Санкт-Петербургского государственного политехнического университета. 2(219)' 2015. С. 182-190/
https://engtech.spbstu.ru/userfiles/files/articles/2015/2/20_nosov.pdf

9. Носов В.В. Оценка удароопасности участка массива горных пород по результатам регистрации его сейсмоакустической активности// Записки Горного Института. 2015 г, Том 216, с. 62-75. <http://pmi-old.spmi.ru/sites/default/files/pdfarticle/62-75.pdf>

6. Материально-техническое оснащение аудиторий:

Специализированные аудитории, используемые при проведении занятий лекционного типа оснащены мультимедийными проекторами и комплектом аппаратуры, позволяющей демонстрировать текстовые и графические материалы.

Рабочая программа модуля

«Стандартизация и метрологическое обеспечение НМК»

1. Содержание модуля

В модуле содержится материал, освещающий такие темы, как: «Нормативная документация на НМК», «Приборы, меры, стандартные образцы для обеспечения единства измерений и воспроизводимости их результатов», «Метрологическое обеспечение методов и средств НМК».

2. Матрица формирования профессиональных компетенций

Процесс изучения модуля «Стандартизация и метрологическое обеспечение НМК» направлен на формирование следующих компетенций:

№ п/п	Формируемые профессиональные компетенции	Кол-во часов	Основные показатели освоения модуля
1	Способность решать производственные и (или) исследовательские задачи на основе фундаментальных знаний в области диагностики состояния и обеспечения безопасной эксплуатации опасных технических объектов	8	Знать содержание естественнонаучных дисциплин, составляющих теоретическую основу модулей профильной подготовки Уметь решать профессиональные задачи в области контроля материалов, веществ и изделий, объектов химической, атомной, нефтехими-

№ п/п	Формируемые профессиональные компетенции	Кол-во часов	Основные показатели освоения модуля
			ческой, нефте-, газо-, горнодобывающей, металлургической и транспортной промышленности, топливно-энергетического комплекса., применять фундаментальные знания для решения задач в междисциплинарных областях профессиональной деятельности Владеть навыком решения исследовательских и производственных задач, относящихся к области металлургии и металлообработки с применением фундаментальных знаний

3. Структура модуля

№ п/п	Наименование темы	Всего, час	в том числе			Форма контроля
			ЛК	ПР	СР	
1.1	Стандартизация и метрологическое обеспечение НМК	6	4	–	2	–
1.2.	Измерительная акустико-эмиссионная система и методика экспериментальных исследований	2	–	2	–	–

4. Перечень занятий семинарского типа

№ п/п	Наименование занятия семинарского типа	Вид занятия	Кол-во час.
1.	Измерительная акустико-эмиссионная система и методика экспериментальных исследований	практическое занятие	2

5. Учебно-методическое обеспечение

5.1. Основная литература

- Носов В.В. Диагностика машин и оборудования: Учебное пособие 2016, 2-е изд. Испр и доп, «Лань», СПб, - 376 с. <https://lanbook.com/catalog/mashinostroenie/diagnostika-mashin-i-oborudovaniya-72902234/> //
- Носов В.В. Механика композиционных материалов. Лабораторные работы и практические занятия: Учебное пособие. Изд-во «Лань», СПб, 2013, 2-е изд. перераб. и доп., 240 с.: ил. <https://lanbook.com/catalog/inzhenerno-tekhnicheskie-nauki/mehanika-kompozitsionnyh-materialov-laboratornye-raboty-i-prakticheskie-zanyatiya-60945806/>

3. Носов В.В., Матвиев И.В. Механика неоднородных материалов. Учебное пособие. Изд-во «Лань», СПб, 2017, 2-е изд. испр. и доп., 276 с <https://lanbook.com/catalog/mashinostroenie/mehanika-neodnorodnyh-materialov-72893571/>
4. Носов В.В., Ямилова А.Р. Метод акустической эмиссии. Учебное пособие. Изд-во «Лань», СПб, 2017, 304 с. <https://lanbook.com/catalog/mashinostroenie/metod-akusticheskoy-emissii-72893573///>
5. Носов В.В. Принципы оптимизации технологий акустико-эмиссионного контроля прочности промышленных объектов // Дефектоскопия, № 7, 2016, с. 52-67

5.2. Дополнительная литература

1. Носов В.В., Ямилова А.Р., Зеленский Н.А., Матвиев И.В. Оптимизация акустико-эмиссионного контроля прочности сварных соединений // Вестник МЭИ, 2017, № 2. С. 96-101. <http://vestnik.mpei.ru/vestnik/archive/article/472/>
2. Носов В.В., Ямилова А.Р., Зеленский Н.А., Матвиев И.В. Методика неразрушающего акустико-эмиссионного контроля прочности сварных соединений // Вестник МЭИ, 2017, № 3. С. 92-101 <http://vestnik.mpei.ru/vestnik/archive/article/487/>
3. Носов В.В., Номинас С.В., Зеленский Н.А. Оценка прочности сосудов давления на основе использования явления акустической эмиссии // Научно-технические ведомости Санкт-Петербургского государственного политехнического университета. 2(219) 2015. С. 182-190/
https://engtech.spbstu.ru/userfiles/files/articles/2015/2/20_nosov.pdf
4. Носов В.В. Оценка удароопасности участка массива горных пород по результатам регистрации его сейсмоакустической активности // Записки Горного Института. 2015 г, Том 216, с. 62-75. <http://pmi-old.spmi.ru/sites/default/files/pdfarticle/62-75.pdf>
5. Носов В.В. Контроль прочности неоднородных материалов методом акустической эмиссии // Записки Горного института. 2017. Т. 226. С. 469-479 <https://cyberleninka.ru/article/v/kontrol-prochnosti-neodnorodnyh-materialov-metodom-akusticheskoy-emissii>
6. Носов В.В., Махмудов Х.Ф. Связь акустической эмиссии упруго нагруженных заготовок и качества проката из них // Вестник Тамбовского университета. Серия Естественные и технические науки. 2016, т.21, № 3. С. 1195-1198. http://www.docme.ru/doc/1641137/svyaz_-akusticheskoy-e-missii-uprugogo-nagruzhennyh-zagotovok-i..
7. Носов В.В. Акустико-эмиссионная диагностика качества металлургического сырья на основе моделирования процесса разрушения и пластической перестройки структуры материала/ XXIII Петербургские чтения по проблемам прочности, посвященной 100-летию ФТИ им. А.Ф. Иоффе и 110-летию со дня рождения чл.-кор. АН СССР А.В. Степанова, Санкт-Петербург, Россия, 10-12 апреля 2018 г. Санкт-Петербург. [http://nanomat.spbu.ru/sites/default/files/Programma%20chteniy%20\(proekt\).pdf](http://nanomat.spbu.ru/sites/default/files/Programma%20chteniy%20(proekt).pdf)
8. ПБ 03-593-03 Правила организации и проведения акустико-эмиссионного контроля сосудов, аппаратов и технологических трубопроводов. Основной документ, регламентирующий общие положения проведения АЭ контроля в промышленности. Распространяется практически на все виды оборудования. Утвержден Ростехнадзором и является основой всех отраслевых методических документов по АЭ-контролю. <https://mooml.com/d/normativnye-dokumenty-po-nadzoru-v-oblasti-stroitelstva/normativnye-dokumenty-po-gortekhnadzoru/14894/>
9. ГОСТ Р 55045-2012. Техническая диагностика. Акустико-эмиссионная диагностика. Термины, определения и обозначения. <http://docs.cntd.ru/document/1200096172>
10. Nosov V.V. Bump hazard evaluation of a rock mass area as a result of its seismic acoustic activity registration/ Journal of Mining Institute. 2015. Vol. 216. P. 62-76 (Оценка удароопасности участка массива горных пород по результатам регистрации его сейсмоакустической активности)

11. Nosov V.V. Control of inhomogeneous materials strength by method of acoustic emission /Journal of Mining Institute. 2017. Vol. 226. P. 469-479 (Контроль прочности неоднородных материалов методом акустической эмиссии)

5.3. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студента

1. Физические основы акустического контроля: Учебно- методический комплекс / Санкт-Петербургский горный университет. Сост.: А.И. Потапов, В.В. Носов. СПб, 2016. 151 с. <http://old.spmi.ru/system/files/lib/uch/metodichki/2016-205.pdf>

2. Носов В.В. Диагностика машин и оборудования: Учебное пособие 2016, 2-е изд. Испр и доп, «Лань», СПб, - 376 с. <https://lanbook.com/catalog/mashinostroenie/diagnostika-mashin-i-oborudovaniya-72902234/>

3. Носов В.В. Механика композиционных материалов. Лабораторные работы и практические занятия: Учебное пособие. Изд-во «Лань», СПб, 2013, 2-е изд. перераб. и доп., 240 с.: ил. <https://lanbook.com/catalog/inzhenerno-tehnicheskie-nauki/mehnika-kompozicionnyh-materialov-laboratornye-raboty-i-prakticheskie-zanyatiya-60945806/>

4. Носов В.В., Матвиев И.В. Механика неоднородных материалов. Учебное пособие. Изд-во «Лань», СПб, 2017, 2-е изд. испр. и доп. , 276 с <https://lanbook.com/catalog/mashinostroenie/mehnika-neodnorodnyh-materialov-72893571/>

5. Носов В.В, Ямилова А.Р. Метод акустической эмиссии. Учебное пособие. Изд-во «Лань», СПб, 2017, 304 с. <https://lanbook.com/catalog/mashinostroenie/metod-akusticheskoy-emissii-72893573///>

6. Материально-техническое оснащение аудиторий:

Специализированные аудитории, используемые при проведении занятий лекционного типа оснащены мультимедийными проекторами и комплектом аппаратуры, позволяющей демонстрировать текстовые и графические материалы.

Рабочая программа модуля

«Основные контролируемые физико-механические свойства материалов и изделий»

1. Содержание модуля

В модуле подробно разобраны виды материалов и изделия из них. Представлены физико-механические характеристики изделий из различных материалов: прочностные и упругие характеристики, твердость, электрические и магнитные свойства, плотность, пористость, кажущаяся плотность, влажность, термические свойства, способность поглощать и рассеивать гамма-излучение. Описана взаимосвязь между различными физико-механическими характеристиками.

2. Матрица формирования профессиональных компетенций

Процесс изучения модуля «Основные контролируемые физико-механические свойства материалов и изделий» направлен на формирование следующих компетенций:

№ п/п	Формируемые профессиональные компетенции	Кол-во часов	Основные показатели освоения модуля
1	Способность оценивать результаты научно-технических разработок, научных исследований и обосновывать собственный выбор, систематизируя и обобщая достижения в отрасли неразрушающего контроля и диагностики	7	Знать отечественный и международный опыт в области обеспечения безопасной эксплуатации посредством неразрушающего контроля объектов химической, атомной, нефтехимической, нефте-, газо-, горнодобывающей, металлургической и транспортной промышленности, топливно-энергетического комплекса.
			Уметь собирать, обрабатывать, анализировать и обобщать результаты экспериментов и исследований в области обеспечения безопасной эксплуатации посредством неразрушающего контроля материалов, веществ и изделий, объектов химической, атомной, нефтехимической, нефте-, газо-, горнодобывающей, металлургической и транспортной промышленности, топливно-энергетического комплекса.
			Владеть правилами анализа технической информации контроля объектов в области обеспечения безопасной эксплуатации посредством диагностирования объектов химической, атомной, нефтехимической, нефте-, газо-, горнодобывающей, металлургической и транспортной промышленности, топливно-энергетического комплекса на основе анализа научно-технической информации о технологических процессах

3. Структура модуля

№ п/п	Наименование темы	Всего, час	в том числе			Форма контроля
			ЛК	ПР	СР	
1.1	Основные контролируемые физико-механические свойства материалов и изделий	5	4	–	1	–
1.2	Методология обеспечения информативности акустико-эмиссионного неразрушающего контроля прочности конструкционных материалов	2	–	2	–	–

4. Перечень занятий семинарского типа

№ п/п	Наименование занятия семинарского типа	Вид занятия	Кол-во час.
1.	Методология обеспечения информативности акустико-эмиссионного неразрушающего контроля прочности конструкционных материалов	практическое занятие	2

5. Учебно-методическое обеспечение дисциплины

5.1. Основная литература

1. Носов В.В. Диагностика машин и оборудования: Учебное пособие 2016, 2-е изд. Испр и доп, «Лань», СПб, - 376 с. <https://lanbook.com/catalog/mashinostroenie/diagnostika-mashin-i-oborudovaniya-72902234/> //
2. Носов В.В. Механика композиционных материалов. Лабораторные работы и практические занятия: Учебное пособие. Изд-во «Лань», СПб, 2013, 2-е изд. перераб. и доп., 240 с.: ил. <https://lanbook.com/catalog/inzhenerno-tehnicheskie-nauki/mehanika-kompozicionnyh-materialov-laboratornye-raboty-i-prakticheskie-zanyatiya-60945806/>
3. Носов В.В., Матвиев И.В. Механика неоднородных материалов. Учебное пособие. Изд-во «Лань», СПб, 2017, 2-е изд. испр. и доп. , 276 с <https://lanbook.com/catalog/mashinostroenie/mehanika-neodnorodnyh-materialov-72893571/>
4. Носов В.В., Ямилова А.Р. Метод акустической эмиссии. Учебное пособие. Изд-во «Лань», СПб, 2017, 304 с. <https://lanbook.com/catalog/mashinostroenie/metod-akusticheskoy-emissii-72893573///>
5. Носов В.В. Принципы оптимизации технологий акустико-эмиссионного контроля прочности промышленных объектов // Дефектоскопия, № 7, 2016, с. 52-67

5.2. Дополнительная литература

1. Носов В.В., Ямилова А.Р., Зеленский Н.А., Матвиев И.В. Оптимизация акустико-эмиссионного контроля прочности сварных соединений// Вестник МЭИ, 2017, № 2. С. 96-101. <http://vestnik.mpei.ru/vestnik/archive/article/472/>
2. Носов В.В., Ямилова А.Р., Зеленский Н.А., Матвиев И.В. Методика неразрушающего акустико-эмиссионного контроля прочности сварных соединений// Вестник МЭИ, 2017, № 3. С. 92-101 <http://vestnik.mpei.ru/vestnik/archive/article/487/>
3. Носов В.В., Номинас С.В., Зеленский Н.А. Оценка прочности сосудов давления на основе использования явления акустической эмиссии// Научно-технические ведомости Санкт-Петербургского государственного политехнического университета. 2(219)' 2015. С. 182-190/
https://engtech.spbstu.ru/userfiles/files/articles/2015/2/20_nosov.pdf
4. Носов В.В. Оценка удароопасности участка массива горных пород по результатам регистрации его сейсмоакустической активности// Записки Горного Института. 2015 г, Том 216, с. 62-75. <http://pmi-old.spmi.ru/sites/default/files/pdfarticle/62-75.pdf>
5. Носов В.В. Контроль прочности неоднородных материалов методом акустической эмиссии// Записки Горного института. 2017. Т. 226. С. 469-479 <https://cyberleninka.ru/article/v/kontrol-prochnosti-neodnorodnyh-materialov-metodom-akusticheskoy-emissii>
6. Носов В.В., Махмудов Х.Ф. Связь акустической эмиссии упруго нагруженных заготовок и качества проката из них // Вестник Тамбовского университета. Серия Естественные и технические науки.2016, т.21, № 3. С. 1195-1198.

http://www.docme.ru/doc/1641137/svyaz._-akusticheskoy-e-missii-uprugo-nagruzhenyhzagotovok-i..

7. Носов В.В. Акустико-эмиссионная диагностика качества металлургического сля-ба на основе моделирования процесса разрушения и пластической перестройки структуры материала/ XXIII Петербургские чтения по проблемам прочности, посвященной 100-летию ФТИ им. А.Ф. Иоффе и 110-летию со дня рождения чл.-кор. АН СССР А.В. Степанова, Санкт-Петербург, Россия, 10-12 апреля 2018 г. Санкт-Петербург. [http://nanomat.spbu.ru/sites/default/files/Programma%20chteniy%20\(proekt\).pdf](http://nanomat.spbu.ru/sites/default/files/Programma%20chteniy%20(proekt).pdf)

8. ПБ 03-593-03 Правила организации и проведения акустико-эмиссионного контроля сосудов, аппаратов и технологических трубопроводов. Основной документ, регламентирующий общие положения проведения АЭ контроля в промышленности. Распространяется практически на все виды оборудования. Утвержден Ростехнадзором и является основой всех отраслевых методических документов по АЭ-контролю. <https://mooml.com/d/normativnye-dokumenty-po-nadzoru-v-oblasti-stroitelstva/normativnye-dokumenty-po-gortekhnadzoru/14894/>

9. ГОСТ Р 55045-2012. Техническая диагностика. Акустико-эмиссионная диагностика. Термины, определения и обозначения. <http://docs.cntd.ru/document/1200096172>

10. Nosov V.V. Bump hazard evaluation of a rock mass area as a result of its seismic acoustic activity registration/ Journal of Mining Institute. 2015. Vol. 216. P. 62-76 (Оценка удароопасности участка массива горных пород по результатам регистрации его сейсмоакустической активности)

11. Nosov V.V. Control of inhomogeneous materials strength by method of acoustic emission /Journal of Mining Institute. 2017. Vol. 226. P. 469-479 (Контроль прочности неоднородных материалов методом акустической эмиссии)

5.3. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студента

1. Физические основы акустического контроля: Учебно- методический комплекс / Санкт-Петербургский горный университет. Сост.: А.И. Потапов, В.В. Носов. СПб, 2016. 151 с. <http://old.spmi.ru/system/files/lib/uch/metodichki/2016-205.pdf>

2. Носов В.В. Диагностика машин и оборудования: Учебное пособие 2016, 2-е изд. Испр и доп, «Лань», СПб, - 376 с. <https://lanbook.com/catalog/mashinostroenie/diagnostika-mashin-i-oborudovaniya-72902234/>

3. Носов В.В. Механика композиционных материалов. Лабораторные работы и практические занятия: Учебное пособие. Изд-во «Лань», СПб, 2013, 2-е изд. перераб. и доп., 240 с.: ил. <https://lanbook.com/catalog/inzhenerno-tekhnicheskie-nauki/mehanika-kompozicionnyh-materialov-laboratornye-raboty-i-prakticheskie-zanyatiya-60945806/>

4. Носов В.В., Матвиан И.В. Механика неоднородных материалов. Учебное пособие. Изд-во «Лань», СПб, 2017, 2-е изд. испр. и доп. , 276 с <https://lanbook.com/catalog/mashinostroenie/mehanika-neodnorodnyh-materialov-72893571/>

5. Носов В.В, Ямилова А.Р. Метод акустической эмиссии. Учебное пособие. Изд-во «Лань», СПб, 2017, 304 с. <https://lanbook.com/catalog/mashinostroenie/metod-akusticheskoy-emissii-72893573///>

6. Материально-техническое оснащение аудиторий:

Специализированные аудитории, используемые при проведении занятий лекционного типа оснащены мультимедийными проекторами и комплектом аппаратуры, позволяющей демонстрировать текстовые и графические материалы.

**Рабочая программа модуля
«Основные методы НК, их сходство и отличие»**

1. Содержание модуля

Модуль содержит информацию об акустических, электромагнитных и вихревых методах контроля. Подробно рассмотрены способы радиоволновых методов контроля. Представлена информация о приборной и инструментальной базе обеспечения тепловых и радиационных методов контроля.

2. Матрица формирования профессиональных компетенций

Процесс изучения модуля «Основные методы НК, их сходство и отличие» направлен на формирование следующих компетенций:

№ п/п	Формируемые профессиональные компетенции	Кол-во часов	Основные показатели освоения модуля
1	Способность анализировать и учитывать разнообразие культур в процессе межкультурного взаимодействия	8	<p>Знать закономерности и особенности социально-исторического развития различных культур; особенности межкультурного разнообразия общества; правила и технологии эффективного межкультурного взаимодействия</p> <p>Уметь понимать и толерантно воспринимать межкультурное разнообразие общества; анализировать и учитывать разнообразие культур в процессе межкультурного взаимодействия</p> <p>Владеть методами и навыками эффективного межкультурного взаимодействия</p>

3. Структура и содержание модуля

№ п/п	Наименование модуля	Всего, час	в том числе			Форма контроля
			ЛК	ПР	СР	
1	Основные методы НК, их сходство и отличие	8	6	-	2	-

4. Перечень занятий семинарского типа

Занятия семинарского типа в данном модуле не предусмотрены.

5. Учебно-методическое обеспечение

5.1. Основная литература

- Носов В.В. Диагностика машин и оборудования: Учебное пособие 2016, 2-е изд. Испр и доп, «Лань», СПб, - 376 с. <https://lanbook.com/catalog/mashinostroenie/diagnostika-mashin-i-oborudovaniya-72902234/> //
- Носов В.В. Механика композиционных материалов. Лабораторные работы и практические занятия: Учебное пособие. Изд-во «Лань», СПб, 2013, 2-е изд. перераб. и

доп., 240 с.: ил. <https://lanbook.com/catalog/inzhenerno-tekhicheskie-nauki/mehanika-kompozicionnyh-materialov-laboratornye-raboty-i-prakticheskie-zanyatiya-60945806/>

3. Носов В.В., Матвиан И.В. Механика неоднородных материалов. Учебное пособие. Изд-во «Лань», СПб, 2017, 2-е изд. испр. и доп., 276 с <https://lanbook.com/catalog/mashinostroenie/mehanika-neodnorodnyh-materialov-72893571/>

4. Носов В.В., Ямилова А.Р. Метод акустической эмиссии. Учебное пособие. Изд-во «Лань», СПб, 2017, 304 с. <https://lanbook.com/catalog/mashinostroenie/metod-akusticheskoy-emissii-72893573///>

5. Носов В.В. Принципы оптимизации технологий акустико-эмиссионного контроля прочности промышленных объектов // Дефектоскопия, № 7, 2016, с. 52-67

5.2. Дополнительная литература

1. Носов В.В., Ямилова А.Р., Зеленский Н.А., Матвиан И.В. Оптимизация акустико-эмиссионного контроля прочности сварных соединений// Вестник МЭИ, 2017, № 2. С. 96-101. <http://vestnik.mpei.ru/vestnik/archive/article/472/>

2. Носов В.В., Ямилова А.Р., Зеленский Н.А., Матвиан И.В. Методика неразрушающего акустико-эмиссионного контроля прочности сварных соединений// Вестник МЭИ, 2017, № 3. С. 92-101 <http://vestnik.mpei.ru/vestnik/archive/article/487/>

3. Носов В.В., Номинас С.В., Зеленский Н.А. Оценка прочности сосудов давления на основе использования явления акустической эмиссии// Научно-технические ведомости Санкт-Петербургского государственного политехнического университета. 2(219)' 2015. С. 182-190/
https://engtech.spbstu.ru/userfiles/files/articles/2015/2/20_nosov.pdf

4. Носов В.В. Оценка удароопасности участка массива горных пород по результатам регистрации его сейсмоакустической активности// Записки Горного Института. 2015 г, Том 216, с. 62-75. <http://pmi-old.spmi.ru/sites/default/files/pdfarticle/62-75.pdf>

5. Носов В.В. Контроль прочности неоднородных материалов методом акустической эмиссии// Записки Горного института. 2017. Т. 226. С. 469-479 <https://cyberleninka.ru/article/v/kontrol-prochnosti-neodnorodnyh-materialov-metodom-akusticheskoy-emissii>

6. Носов В.В., Махмудов Х.Ф. Связь акустической эмиссии упруго нагруженных заготовок и качества проката из них // Вестник Тамбовского университета. Серия Естественные и технические науки. 2016, т.21, № 3. С. 1195-1198. http://www.docme.ru/doc/1641137/svyaz._-akusticheskoy-e-missii-uprugonagruzhennyh-zagotovok-i..

7. Носов В.В. Акустико-эмиссионная диагностика качества металлургического сляба на основе моделирования процесса разрушения и пластической перестройки структуры материала/ XXIII Петербургские чтения по проблемам прочности, посвященной 100-летию ФТИ им. А.Ф. Иоффе и 110-летию со дня рождения чл.-кор. АН СССР А.В. Степанова, Санкт-Петербург, Россия, 10-12 апреля 2018 г. Санкт-Петербург. [http://nanomat.spbu.ru/sites/default/files/Programma%20chteniy%20\(proekt\).pdf](http://nanomat.spbu.ru/sites/default/files/Programma%20chteniy%20(proekt).pdf)

8. ПБ 03-593-03 Правила организации и проведения акустико-эмиссионного контроля сосудов, аппаратов и технологических трубопроводов. Основной документ, регламентирующий общие положения проведения АЭ контроля в промышленности. Распространяется практически на все виды оборудования. Утвержден Ростехнадзором и является основой всех отраслевых методических документов по АЭ-контролю. <https://mooml.com/d/normativnye-dokumenty-po-nadzoru-v-oblasti-stroitelstva/normativnye-dokumenty-po-gortekhnadzoru/14894/>

9. ГОСТ Р 55045-2012. Техническая диагностика. Акустико-эмиссионная диагностика. Термины, определения и обозначения. <http://docs.cntd.ru/document/1200096172>

10. Nosov V.V. Bump hazard evaluation of a rock mass area as a result of its seismic acoustic activity registration/ Journal of Mining Institute. 2015. Vol. 216. P. 62-76 (Оценка уда-

роопасности участка массива горных пород по результатам регистрации его сейсмоакустической активности)

11. Nosov V.V. Control of inhomogeneous materials strength by method of acoustic emission /Journal of Mining Institute. 2017. Vol. 226. P. 469-479 (Контроль прочности неоднородных материалов методом акустической эмиссии)

5.3. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студента

1. Физические основы акустического контроля: Учебно- методический комплекс / Санкт-Петербургский горный университет. Сост.: А.И. Потапов, В.В. Носов. СПб, 2016. 151 с. <http://old.spmi.ru/system/files/lib/uch/metodichki/2016-205.pdf>

2. Носов В.В. Диагностика машин и оборудования: Учебное пособие 2016, 2-е изд. Испр и доп, «Лань», СПб, - 376 с. <https://lanbook.com/catalog/mashinostroenie/diagnostika-mashin-i-oborudovaniya-72902234/> //

3. Носов В.В. Механика композиционных материалов. Лабораторные работы и практические занятия: Учебное пособие. Изд-во «Лань», СПб, 2013, 2-е изд. перераб. и доп., 240 с.: ил. <https://lanbook.com/catalog/inzhenerno-tekhnicheskie-nauki/mehanika-kompozicionnyh-materialov-laboratornye-raboty-i-prakticheskie-zanyatiya-60945806/>

4. Носов В.В., Матвиев И.В. Механика неоднородных материалов. Учебное пособие. Изд-во «Лань», СПб, 2017, 2-е изд. испр. и доп. , 276 с <https://lanbook.com/catalog/mashinostroenie/mehanika-neodnorodnyh-materialov-72893571/>

5. Носов В.В, Ямилова А.Р. Метод акустической эмиссии. Учебное пособие. Изд-во «Лань», СПб, 2017, 304 с. <https://lanbook.com/catalog/mashinostroenie/metod-akusticheskoy-emissii-72893573///>

6. Материально-техническое обеспечение:

Специализированные аудитории, используемые при проведении занятий лекционного типа оснащены мультимедийными проекторами и комплектом аппаратуры, позволяющей демонстрировать текстовые и графические материалы.

Рабочая программа модуля

«Нормативная документация на НМК. Приборы, меры, стандартные образцы для обеспечения единства измерений и воспроизводимости их результатов. Организация НМК в условиях действующего производства и при научных исследованиях»

1. Содержание модуля

В модуле содержится информация о нормативной документации на НМК. Подробно описаны приборы, меры и стандартные образцы для обеспечения единства измерений и воспроизводимости их результатов. Подробно рассмотрены вопросы организации НМК в условиях действующего производства и при научных исследованиях.

2. Матрица формирования профессиональных компетенций

Процесс изучения модуля «Нормативная документация на НМК. Приборы, меры, стандартные образцы для обеспечения единства измерений и воспроизводимости их результатов. Организация НМК в условиях действующего производства и при научных исследованиях» направлен на формирование следующих компетенций:

№ п/п	Формируемые профессиональные компетенции	Кол-во часов	Основные показатели освоения модуля
1	Способность организовать контроль образцов сырья, материалов, полуфабрикатов и готовой продукции на производстве	7	<p>Знать методики контроля технологических свойств материалов. Методы анализа и контроля и управления качеством продукции в области обеспечения безопасной эксплуатации посредством контроля объектов химической, атомной, нефтехимической, нефте-, газо-, горнодобывающей, металлургической и транспортной промышленности, топливно-энергетического комплекса. Управление качеством продукции металлургического производства</p> <p>Уметь применять статистические и физические методы обработки результатов неразрушающего контроля</p> <p>Владеть анализом качества методического и программного обеспечения контрольно-измерительных систем, работоспособности технологического и диагностического оборудования.</p>

3. Структура и содержание модуля

№ п/п	Наименование темы	Всего, час	в том числе			Форма контроля
			ЛК	ПР	СР	
1	Нормативная документация на НМК.	7	4	–	3	–

4. Перечень занятий семинарского типа

Занятия семинарского типа в данном модуле не предусмотрены.

5. Учебно-методическое обеспечение

5.1. Основная литература

- Носов В.В. Диагностика машин и оборудования: Учебное пособие 2016, 2-е изд. Испр и доп, «Лань», СПб, - 376 с. <https://lanbook.com/catalog/mashinostroenie/diagnostika-mashin-i-oborudovaniya-72902234/>
- Носов В.В. Механика композиционных материалов. Лабораторные работы и практические занятия: Учебное пособие. Изд-во «Лань», СПб, 2013, 2-е изд. перераб. и доп., 240 с.: ил. <https://lanbook.com/catalog/inzhenerno-tekhnicheskie-nauki/mehanika-kompozicionnyh-materialov-laboratornye-raboty-i-prakticheskie-zanyatiya-60945806/>
- Носов В.В., Матвьян И.В. Механика неоднородных материалов. Учебное пособие. Изд-во «Лань», СПб, 2017, 2-е изд. испр. и доп., 276 с <https://lanbook.com/catalog/mashinostroenie/mehanika-neodnorodnyh-materialov-72893571/>

4. Носов В.В., Ямилова А.Р. Метод акустической эмиссии. Учебное пособие. Изд-во «Лань», СПб, 2017, 304 с. <https://lanbook.com/catalog/mashinostroenie/metod-akusticheskoy-emissii-72893573///>
5. Носов В.В. Принципы оптимизации технологий акустико-эмиссионного контроля прочности промышленных объектов // Дефектоскопия, № 7, 2016, с. 52-67

5.2. Дополнительная литература

1. Носов В.В., Ямилова А.Р., Зеленский Н.А., Матвиев И.В. Оптимизация акустико-эмиссионного контроля прочности сварных соединений// Вестник МЭИ, 2017, № 2. С. 96-101. <http://vestnik.mpei.ru/vestnik/archive/article/472/>
2. Носов В.В., Ямилова А.Р., Зеленский Н.А., Матвиев И.В. Методика неразрушающего акустико-эмиссионного контроля прочности сварных соединений// Вестник МЭИ, 2017, № 3. С. 92-101 <http://vestnik.mpei.ru/vestnik/archive/article/487/>
3. Носов В.В., Номинас С.В., Зеленский Н.А. Оценка прочности сосудов давления на основе использования явления акустической эмиссии// Научно-технические ведомости Санкт-Петербургского государственного политехнического университета. 2(219)' 2015. С. 182-190/
https://engtech.spbstu.ru/userfiles/files/articles/2015/2/20_nosov.pdf
4. Носов В.В. Оценка удароопасности участка массива горных пород по результатам регистрации его сейсмоакустической активности// Записки Горного Института. 2015 г, Том 216, с. 62-75. <http://pmi-old.spmi.ru/sites/default/files/pdfarticle/62-75.pdf>
5. Носов В.В. Контроль прочности неоднородных материалов методом акустической эмиссии// Записки Горного института. 2017. Т. 226. С. 469-479 <https://cyberleninka.ru/article/v/kontrol-prochnosti-neodnorodnyh-materialov-metodom-akusticheskoy-emissii>
6. Носов В.В., Махмудов Х.Ф. Связь акустической эмиссии упруго нагруженных заготовок и качества проката из них // Вестник Тамбовского университета. Серия Естественные и технические науки.2016, т.21, № 3. С. 1195-1198. http://www.docme.ru/doc/1641137/svyaz._akusticheskoy-e-missii-uprugonagruzhennyh-zagotovok-i..
7. Носов В.В. Акустико-эмиссионная диагностика качества металлургического сляба на основе моделирования процесса разрушения и пластической перестройки структуры материала/ XXIII Петербургские чтения по проблемам прочности, посвященной 100-летию ФТИ им. А.Ф. Иоффе и 110-летию со дня рождения чл.-кор. АН СССР А.В. Степанова, Санкт-Петербург, Россия, 10-12 апреля 2018 г. Санкт-Петербург. [http://nanomat.spbu.ru/sites/default/files/Programma%20chteniy%20\(proekt\).pdf](http://nanomat.spbu.ru/sites/default/files/Programma%20chteniy%20(proekt).pdf)
8. ПБ 03-593-03 Правила организации и проведения акустико-эмиссионного контроля сосудов, аппаратов и технологических трубопроводов. Основной документ, регламентирующий общие положения проведения АЭ контроля в промышленности. Распространяется практически на все виды оборудования. Утвержден Ростехнадзором и является основой всех отраслевых методических документов по АЭ-контролю. <https://mooml.com/d/normativnye-dokumenty-po-nadzoru-v-oblasti-stroitelstva/normativnye-dokumenty-po-gortekhnadzoru/14894/>
9. ГОСТ Р 55045-2012. Техническая диагностика. Акустико-эмиссионная диагностика. Термины, определения и обозначения. <http://docs.cntd.ru/document/1200096172>
10. Nosov V.V. Bump hazard evaluation of a rock mass area as a result of its seismic acoustic activity registration/ Journal of Mining Institute. 2015. Vol. 216. P. 62-76 (Оценка удароопасности участка массива горных пород по результатам регистрации его сейсмоакустической активности)
11. Nosov V.V. Control of inhomogeneous materials strength by method of acoustic emission /Journal of Mining Institute. 2017. Vol. 226. P. 469-479 (Контроль прочности неоднородных материалов методом акустической эмиссии)

5.3. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студента

1. Физические основы акустического контроля: Учебно- методический комплекс / Санкт-Петербургский горный университет. Сост.: А.И. Потапов, В.В. Носов. СПб, 2016. 151 с. <http://old.spmi.ru/system/files/lib/uch/metodichki/2016-205.pdf>
2. Носов В.В. Диагностика машин и оборудования: Учебное пособие 2016, 2-е изд. Испр и доп, «Лань», СПб, - 376 с. <https://lanbook.com/catalog/mashinostroenie/diagnostika-mashin-i-oborudovaniya-72902234/>
3. Носов В.В. Механика композиционных материалов. Лабораторные работы и практические занятия: Учебное пособие. Изд-во «Лань», СПб, 2013, 2-е изд. перераб. и доп., 240 с.: ил. <https://lanbook.com/catalog/inzhenerno-tekhnicheskie-nauki/mehanika-kompozicionnyh-materialov-laboratornye-raboty-i-prakticheskie-zanyatiya-60945806/>
4. Носов В.В., Матвиев И.В. Механика неоднородных материалов. Учебное пособие. Изд-во «Лань», СПб, 2017, 2-е изд. испр. и доп. , 276 с <https://lanbook.com/catalog/mashinostroenie/mehanika-neodnorodnyh-materialov-72893571/>
5. Носов В.В, Ямилова А.Р. Метод акустической эмиссии. Учебное пособие. Изд-во «Лань», СПб, 2017, 304 с. <https://lanbook.com/catalog/mashinostroenie/metod-akusticheskoy-emissii-72893573///>

6. Материально-техническое обеспечение:

Специализированные аудитории, используемые при проведении занятий лекционного типа оснащены мультимедийными проекторами и комплектом аппаратуры, позволяющей демонстрировать текстовые и графические материалы.

Приложение 2
к образовательной программе –
«Международная специальная краткосрочная
Программа под эгидой Международного центра ЮНЕСКО
«Неразрушающие методы контроля»

Учебно-методические материалы

- 1) Методические указания для обучающихся по освоению программы
- 2) Тексты лекций
- 3) Методические указания к практическим занятиям
- 4) Учебно-методическое и информационное обеспечение

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ОСВОЕНИЮ ПРОГРАММЫ

Введение

Процесс изучения материала программы предусматривает активное использование современных инновационных образовательных технологий. Формы обучения: индивидуальные и групповые. Методы обучения:

- работа с преподавателем, - работа в коллективе обучающихся,
- самостоятельная работа.

При освоении дисциплины используются следующие виды активной и интерактивной форм обучения для достижения запланированных результатов обучения и формирования компетенций:

- совместное погружение в проблемное поле;
- обсуждение сложных вопросов и проблем;
- работа в малых группах; - разборы конкретных ситуаций и т.д. Процесс освоения дисциплины предусматривает следующие работы:

1. Контактная работа (аудиторная работа: лекционные и практические занятия, мастер-классы, консультации);
2. Самостоятельная работа;
3. Контрольные мероприятия (промежуточные и итоговые аттестации).

Методические указания для обучающихся по лекционным занятиям

по модулю

Лекция является наиболее экономичным способом передачи учебной информации, т.к. при этом обширный материал излагается концентрировано, в логически выдержанной форме, с учетом характера профессиональной деятельности обучаемых. Лекция закладывает основы научных знаний в обобщенной форме. На лекционных занятиях преподаватель:

- знакомит обучающихся с общей методикой работы над курсом;
- дает характеристику учебников и учебных пособий, знакомит слушателей с обязательным списком литературы;
- рассказывает о требованиях к промежуточной аттестации;
- рассматривает основные теоретические положения курса;
- разъясняет вопросы, которые возникли у обучающихся в процессе изучения курса. Лекционное занятие преследует 5 основных дидактических целей:
- информационную (сообщение новых знаний);
- развивающую (систематизация и обобщение накопленных знаний);
- воспитывающую (формирование взглядов, убеждений, мировоззрения);
- стимулирующую (развитие познавательных и профессиональных интересов);
- координирующую с другими видами занятий.

В процессе прослушивания лекций очень важно умение обучающихся конспектировать наиболее значимые моменты теоретического материала. Конспект помогает внимательнее слушать, лучше запоминать в процессе записи, обеспечивает наличие опорных материалов при подготовке к лабораторным занятиям и промежуточной аттестации. В этой же тетради следует записывать неясные вопросы, требующие уточнения на занятии. Рекомендуется в тетради отвести место для словаря, куда в алфавитном порядке вписываются специальные термины и пояснения к ним.

Методические указания для обучающихся по практическим занятиям по модулю

Практическое занятие – форма систематических учебных занятий, с помощью которых обучающиеся изучают тот или иной раздел определенной научной дисциплины, входящей в состав учебного плана.

Для того чтобы практические занятия приносили максимальную пользу, необходимо помнить, что упражнение и решение заданий проводятся по вычитанному на лекциях материалу и связаны, как правило, с детальным разбором отдельных вопросов лекционного курса. Следует подчеркнуть, что только после усвоения лекционного материала с определенной точки зрения (а именно с той, с которой он излагается на лекциях) он будет закрепляться на практических занятиях как в результате обсуждения и анализа лекционного материала, так и с помощью решения проблемных ситуаций, задач. При этих условиях обучающийся не только хорошо усвоит материал, но и научится применять его на практике, а также получит дополнительный стимул (и это очень важно) для активной проработки лекции.

При самостоятельном решении заданий нужно обосновывать каждый этап решения, исходя из теоретических положений курса. Если обучающийся видит несколько путей решения проблемы, то нужно сравнить их и выбрать самый рациональный. Полезно до начала вычислений составить краткий план решения проблемы. Решение проблемных заданий или примеров следует излагать подробно, вычисления располагать в строгом порядке, отделяя вспомогательные вычисления от основных. Решения при необходимости нужно сопровождать комментариями, схемами, чертежами и рисунками.

Следует помнить, что решение каждого учебного задания должно доводиться до окончательного логического ответа, которого требует условие, и по возможности с выводом. Полученный ответ следует проверить способами, вытекающими из существа данного задания. Полезно также (если возможно) решать несколькими способами и сравнить полученные результаты. Решение заданий данного типа нужно продолжать до приобретения твердых навыков в их решении.

При подготовке к практическим занятиям следует использовать основную литературу из представленного списка, а также руководствоваться приведенными указаниями и рекомендациями. Для наиболее глубокого освоения дисциплины рекомендуется изучать литературу, обозначенную как «дополнительная» в представленном списке. На практических занятиях приветствуется активное участие в обсуждении конкретных ситуаций, способность на основе полученных знаний находить наиболее эффективные решения поставленных проблем, уметь находить полезный дополнительный материал по тематике занятий.

Обучающемуся рекомендуется следующая схема подготовки к занятию:

1. Проработать конспект лекций;
2. Прочитать основную и дополнительную литературу, рекомендованную по изучаемому разделу;
3. Ответить на вопросы плана семинарского занятия;
4. Выполнить домашнее задание;
5. Проработать тестовые задания и задачи;
6. При затруднениях сформулировать вопросы к преподавателю.

В процессе подготовки изучают рекомендованные преподавателем источники литературы, а также самостоятельно осуществляют поиск релевантной информации.

Методические указания для обучающихся по самостоятельной работе по дисциплине (модулю)

Достижение целей эффективной подготовки обучающихся и развитие профессиональных компетенций невозможно без их целеустремленной самостоятельной работы. Самостоятельная работа обучающихся является составной частью учебной работы и имеет целью закрепление и углубление полученных знаний и навыков, поиск и приобретение новых знаний, в том числе с использованием автоматизированных обучающих систем, а также выполнение учебных заданий, подготовку к предстоящим занятиям, текущему контролю и промежуточной аттестации.

Основная цель данного вида занятий состоит в обучении методам самостоятельной работы с учебным материалом, нормативно-правовыми актами, научной литературой, с ситуационными задачами, развитие способности самостоятельно повышать уровень профессиональных знаний, реализуя специальные средства и методы получения нового знания, и использовать приобретенные знания и умения в практической деятельности. Состав самостоятельной работы:

1. Подготовка к лекционным и практическим занятиям:

- чтение текста (учебника, первоисточника, дополнительной литературы и т.д.);
- составление плана текста, графическое изображение структуры текста, конспектирование текста, выписки из текста и т.д.;
- работа с конспектом;
- подготовка вопросов для самостоятельного изучения

2. Подготовка к лабораторным занятиям:

- работа со справочниками и др. литературой;
- формирование отчета о выполнении лабораторного занятия;
- подготовка мультимедиа презентации и докладов к выступлению по результатам лабораторного занятия;

3. Подготовка к промежуточной и итоговой аттестациям:

- повторение всего учебного материала модуля
- аналитическая обработка текста; периодического, продолжающегося издания или сборника как составная часть его основного текста.

Методические указания для обучающихся по промежуточной и итоговой аттестации по дисциплине (модулю)

В период подготовки к промежуточной и итоговой аттестации обучающихся вновь обращаются к пройденному учебному материалу. При этом они не только закрепляют полученные знания, но и получают новые. Подготовка обучающегося к аттестации включает в себя три этапа:

- самостоятельная работа в течение курса;
- непосредственная подготовка в дни, предшествующие промежуточной и итоговой аттестации по темам курса;
- подготовка к ответу на вопросы.

Подготовка к аттестации осуществляется на основании списка вопросов по изучаемому курсу, конспектов лекций, учебников и учебных пособий, научных статей, информации среды интернет. Литература для подготовки к промежуточной аттестации рекомендуется преподавателем. Для полноты учебной информации и ее сравнения лучше использовать не менее двух источников. Обучающийся вправе сам придерживаться любой из представленных в литературе точек зрения по спорной проблеме (в том числе отличной от преподавателя), но при условии достаточной научной аргументации.

Основным источником подготовки к промежуточной и итоговой аттестации является конспект лекций, где учебный материал дается в систематизированном виде, основные положения его детализируются, подкрепляются современными фактами и информацией, которые в силу новизны не вошли в опубликованные печатные источники. В ходе подготовки к аттестации обучающимся необходимо обращать внимание не только на уровень запоминания, но и на степень понимания излагаемых проблем. Для подготовки к аттестации преподаватель проводит консультацию по возникающим вопросам. Промежуточная аттестация проводится по вопросам, охватывающим весь пройденный материал. По окончании ответа преподаватель может задать обучающемуся дополнительные и уточняющие вопросы. Оценка качества подготовки обучающихся осуществляется в двух основных направлениях: оценка уровня освоения дисциплин и оценка уровня сформированности компетенций обучающихся. Предметом оценивания являются знания, умения и практический опыт обучающихся.

Положительно будет оцениваться стремление обучающихся изложить различные точки зрения на рассматриваемую проблему, выразить свое отношение к ней, применить теоретические знания по современным проблемам.

Методические указания для обучающихся по итоговой аттестации по дисциплине (модулю)

Зачет поводят в простой письменной форме по билетам. Структура всех билетов одинакова и содержит тесты два теоретических вопроса.

При подготовке ответа на каждый вопрос следует придерживаться структуры соответствующей темы, предложенной в разделе «Содержание разделов учебной дисциплины (модуля)» Рабочей программы.

При подготовке к зачету целесообразно составить план (схему) ответа на каждый вопрос и зафиксировать его на каком-либо носителе. По отдельным этапам такого плана полезно записать основные тезисы. Не следует стараться выучить весь материал наизусть. Важно понять материал, чему будет способствовать концентрация мыслей на ключевых определениях и понятиях.

ТЕКСТЫ ЛЕКЦИЙ

СИСТЕМА НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ И ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ ЕЁ РАЗВИТИЯ

Обеспечение промышленной безопасности на опасных производственных объектах с каждым годом становится всё более актуальным. Отсутствие средств на замену или реконструкцию износившегося оборудования обуславливает повышение роли неразрушающего контроля как одного из направлений в решении задачи продления ресурса технических объектов, обосновании возможности их дальнейшей эксплуатации.

Неразрушающий контроль - контроль, при котором не должна быть нарушена пригодность технических устройств, зданий и сооружений к применению и эксплуатации.

Система неразрушающего контроля – совокупность участников, которые в рамках регламентирующих норм, правил, методик, условий, критериев и процедур осуществляют деятельность в области одного из видов экспертизы промышленной безопасности, связанной с применением неразрушающего контроля. Элементами системы являются персонал, подразделения, лаборатории, методические документы, средства неразрушающего контроля.

Средство неразрушающего контроля – техническое устройство, вещество, и (или) материал для проведения неразрушающего контроля.

Управление системой неразрушающего контроля основано на аттестации персонала, лабораторий, методической документации и средств неразрушающего контроля. Применение неразрушающего контроля рекомендовано Ростехнадзором для таких объектов, как:

- объекты котлонадзора: паровые и водогрейные котлы, сосуды, работающие под давлением свыше 0,07 МПа, трубопроводы пара и горячей воды с рабочим давлением пара более 0,07 МПа и температурой свыше 115 °С.
 - системы газоснабжения (газораспределения): наружные и внутренние газопроводы, детали и узлы, газовое оборудование.
 - подъёмные сооружения: грузоподъёмные краны, подъёмники, канатные дороги, фуникулёры, эскалаторы, лифты.
 - оборудование нефтяной и газовой промышленности: резервуары для хранения газонефтепродуктов, газонефтепродуктопроводы.
 - оборудование взрывоопасных и химически опасных производств:
 - оборудование химических, нефтехимических и нефтеперерабатывающих производств, работающее под давлением или вакуумом;
 - резервуары для хранения взрывопожароопасных и токсичных веществ;
 - изотермические хранилища;
 - криогенное оборудование;
 - оборудование аммиачных холодильных установок;
 - компрессорное и насосное оборудование;
 - цистерны, контейнеры, баллоны для взрывопожароопасных и токсичных веществ;
 - котлы, технологические трубопроводы, трубопроводы пара и горячей воды.
- Основными видами (методами) неразрушающего контроля являются:
- акустический (ультразвуковая дефектоскопия и ультразвуковая толщинометрия, акустико-эмиссионный);
 - радиационный (рентгенографический, гаммаграфический, радиоскопический);
 - магнитный (магнитнопорошковый, магнитнографический, метод эффекта Холла);
 - вихретоковый;

- проникающими веществами (капиллярный, течеискание);
- электрический;
- оптический;
- вибродиагностический;
- тепловой;
- визуально-измерительный.

Стандартизация средств неразрушающего контроля и технического диагностирования

Методы испытаний средств неразрушающего контроля и аппаратура для их проведения с указанием метрологических и технических характеристик устанавливаются стандартами на методы испытаний, а также разделами стандартов на общие требования. Обязательный для всех средств неразрушающего контроля конкретный ряд нормируемых и подлежащих испытанию характеристик и параметров, а также методы их оценки приведены в типовых программах государственных приемочных испытаний. Поскольку контроль часто является неотъемлемой частью технологического процесса и планового обслуживания, методы контроля должны быть взаимосвязаны со стандартизацией объектов контроля. Методы контроля стандартизованы в основном для сварных и паяных соединений, металлоконструкций, металлопродукции, строительных материалов и конструкций. Методы и средства контроля для различных этапов технологического цикла определяются стандартами на методы испытаний или стандартами на продукцию. В соответствии с этими стандартами применение неразрушающего контроля может носить как обязательный, так и рекомендательный характер. В ряде стандартов оговаривается, что контроль изделий проводят по требованию потребителя или по согласованию между изготовителем и потребителем.

Для определения работоспособности изделия, поиска дефектов и прогнозирования состояния машин необходимо измерять диагностические параметры. Их выбирают из множества принципиально возможных параметров для исследования информативности признаков, на основе которой определяют окончательный состав измеряемых физических параметров, используемых в дальнейшем для диагноза неисправных состояний.

Физические параметры разделяют на группы: кинематические, геометрические, статические, динамические, тепловые, акустические, электрические и магнитные, механические и молекулярные, излучений, атомной физики, универсальные физические постоянные. Измерение физических параметров положено в основу различных методов и средств технического диагностирования, с помощью которых анализируют и оценивают сложное техническое состояние объекта. Для исследования этого состояния применяют все известные виды электромагнитного излучения – низкочастотное $[(0 \div 10^3) \text{ Гц}]$, радиоволны $(10^4 \div 10^{10}) \text{ Гц}$, инфракрасное $(10^{11} \div 4 \cdot 10^{14}) \text{ Гц}$, видимое $(4 \cdot 10^{14} \div 7,5 \cdot 10^{14}) \text{ Гц}$, ультрафиолетовое $(7,5 \cdot 10^{14} \div 3 \cdot 10^{16}) \text{ Гц}$, рентгеновское $(3 \cdot 10^{16} \div 3 \cdot 10^{20}) \text{ Гц}$, гамма-лучи $(3 \cdot 10^{19} \div 3 \cdot 10^{22}) \text{ Гц}$, космические лучи (более $3 \cdot 10^{22}) \text{ Гц}$. Широкое применение получили многочисленные акустические и вибрационные методы исследования, а также корпускулярные излучения (нейтронов, протонов, электронов, позитронов) и электростатические поля. Диапазон частот звуковых волн $20 \dots 20000 \text{ Гц}$, низкочастотных ультразвуковых - $20 \dots 200 \text{ кГц}$, среднечастотных ультразвуковых – $0,2\text{-}10 \text{ МГц}$, высокочастотных – $10^7 \dots 10^9 \text{ Гц}$, сверхвысокочастотных ультразвуковых - свыше 10^9 Гц . Наиболее существенными и часто встречающимися в практике технического диагностирования машин являются следующие виды измерений: ультразвуковой, акустико-эмиссионный, электрометрия, виброакустика, дефектоскопия, структуроскопия, интроскопия, измерение механических свойств, состава вещества, размеров, сил, деформаций, давления, температуры, времени, массы, влажности, расхода и уровня.

Выбор метода и прибора неразрушающего контроля для решения задач дефектоскопии, толщинометрии, структуроскопии и технической диагностики зависит от параметров контролируемого объекта и условий его обследования. В соответствии с назначением приборов измеряемые и определяемые параметры и дефекты разделяют на четыре группы:

1. Дефекты типа нарушения сплошности.
2. Отклонения размеров.
3. Отклонение свойств материала
4. Изменение свойств материала или размеров во времени.

При любом методе неразрушающего контроля о дефектах судят по косвенным признакам. Характеристики, измеряемые при выявлении дефекта данным методом и в совокупности позволяющие с определенной достоверностью оценить образ дефектов и идентифицировать их по типам и видам в соответствии с заданными граничными значениями этих характеристик, образуют *измеряемые характеристики дефектов*. Измеряемую характеристику дефекта, по значению которой при данном методе неразрушающего контроля принимают решение об отсутствии или о возможном обнаружении дефекта, называют *главной измеряемой характеристикой*.

Стандартизация средств неразрушающего контроля обеспечивает:

- повышение их технического уровня, качества и надежности,
- снижение затрат,
- единообразие и достоверность результатов измерений, испытаний и контроля.

При стандартизации решаются задачи установления оптимальных методов контроля, разработки методов неразрушающего контроля, классификации дефектов и установления критериев их допустимости, развития унификации и типизации технологических процессов контроля, определения основных показателей качества средств неразрушающего контроля, метрологического обеспечения методов.

Одним из основных объектов стандартизации являются термины, применяемые в области неразрушающего контроля. Для различных видов контроля на термины и определения созданы ГОСТы: 24450-80 (магнитный контроль), 25315-82 (электрический контроль), 24289-80 (вихретоковый контроль), 25313-82 (радиоволновый контроль), 25314-82 (тепловой контроль), 24521-80 (оптический контроль), 24034-80 (радиационный контроль), 23829-79 (акустический контроль), 18442-80 (контроль проникающими веществами). Стандартизованы также основные параметры методов контроля и способы оценки этих параметров. Общие положения и требования к средствам неразрушающего контроля регламентируются ГОСТами: 21104-75, 21105-75, 23480-79, 23483-79, 23479-79, 20426-82, 20415-82 и 18442-80.

В стандартах на область применения установлена возможность применения конкретного вида неразрушающего контроля. Их относят к основополагающим стандартам, поскольку они позволяют эффективно использовать методы контроля. Область применения видов и методов неразрушающего контроля отражена в стандартах на общие требования (ГОСТы: 23479-79, 23480-79, 23483-79, 18442-80, 20415-82). Отдельный стандарт на область применения создан только для радиационного вида контроля (ГОСТ 20415-82).

Комплекс требований к конкретным типам средств неразрушающего контроля в зависимости от метода неразрушающего контроля и контролируемого параметра определен ГОСТами общих технических требований: 24732-81, 25335-82, 22238-76, 23149-78, 21397-81, 23349-78, 22555-77, 18061-80.

Стандарты на технические условия и основные параметры регламентируют основные потребительские характеристики средств неразрушающего контроля, их комплектность, правила приемки, маркировки, упаковки и другие требования (ГОСТы: 23694-79, 23048-78, 23702-79, 25113-82, 23764-79, 22556-77, 16002-76, 16003-84 и 7512-75).

Акустические методы контроля

Акустические методы контроля основаны на анализе параметров волн упругих колебаний, возникающих (пассивные методы) или возбуждаемых (активные методы) в объекте контроля. По характеру взаимодействия упругих волн с объектом контроля различают методы прошедшего и отражённого излучения, резонансный, импедансный, собственных колебаний, акустико-эмиссионный и некоторые другие модификации.

Упругая волна представляет собой процесс распространения возмущений в среде в результате действия механических сил, происходящих благодаря упругому взаимодействию частиц среды (рис. 1). В жидкостях и газах распространяются лишь продольные волны. В безграничных твердых телах могут распространяться только продольные и поперечные волны. В ограниченных твердых телах могут распространяться также волны других типов: поверхностные волны (волны Релея), нормальные волны (волны Лэмба), изгибные волны, нормальные стержневые волны (волны Похгаммера).

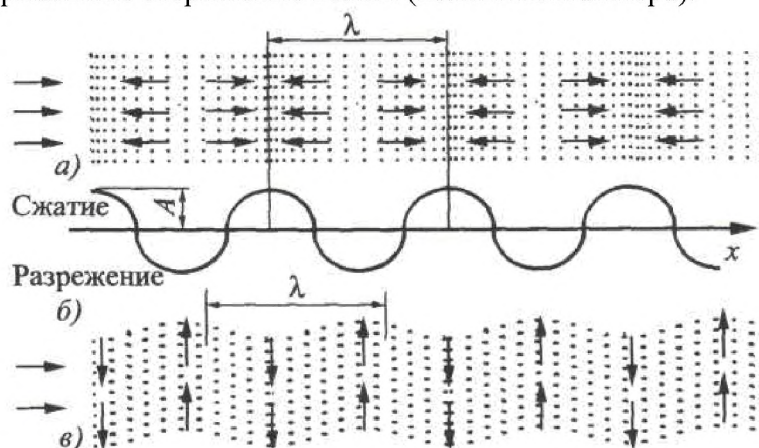


Рис. 1. Физические основы акустических методов. Волны продольная (а), поперечная (в) и волновой процесс (б). Путь, пройденный волной за время t - $S = vt$, где v - скорость распространения волны

Колебания частиц обусловлены звуковым давлением p , которое является разностью между мгновенным p_a и статическим p_o давлениями в данной точке среды:

$$p = p_a - p_o.$$

Скорости продольных, поперечных и поверхностных волн в большинстве материалов не зависят от частоты. Скорости волн в пластинах и стержнях зависят от произведения толщины изделия на частоту. Это явление называют дисперсией скорости.

Скорости распространения волн всех типов определяются плотностью среды и ее упругими составляющими.

Акустические волны представляют собой колебания упругой среды (жидкости, газа или твердого тела), которые могут восприниматься специальными приборами и органами слуха человека. Колебания воспринимаемые человеческим ухом имеют частоту от 16 до 20 000 Гц и называются звуковыми. Колебания с частотами, большими 20 000 Гц называются ультразвуковыми, меньшими 16 Гц – инфразвуковыми. При прохождении в упругой среде, акустические волны ослабевают из-за расхождения энергии в пространстве и затухания в среде. Затухание волны характеризуется коэффициентом затухания δ , который складывается из коэффициентов поглощения и рассеивания:

$$\delta = \delta_n + \delta_p.$$

При поглощении звуковая энергия переходит в тепловую, а при рассеянии остается звуковой, но уходит из направленно распространяющейся волны в результате отражений от неоднородностей среды.

Малая длина ультразвуковой волны обуславливает относительную легкость получения направленных ультразвуковых пучков.

Ультразвуковая дефектоскопия

В ультразвуковой дефектоскопии применяют высокие частоты ($f > 0,5$ МГц), когда отношение поперечного размера преобразователя $2a$ больше длины волны λ . В этом случае излучение характеризуется наличием относительно узкого пучка несущего основную энергию излучения (основной лепесток) и нескольких боковых лепестков (см. рис. 2).

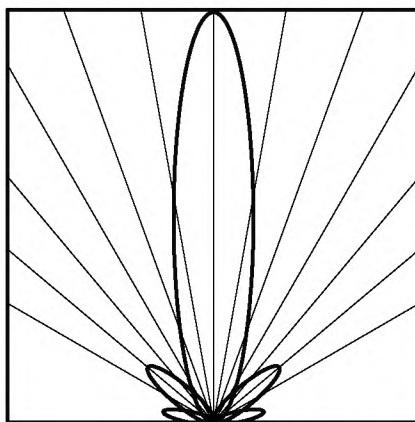


Рис. 2. Диаграмма направленного поля излучения.

Для возбуждения и приема упругих колебаний используют электроакустические преобразователи. Наиболее распространены пьезоэлектрические преобразователи. В таких преобразователях для излучения и приема упругих волн используются отдельные или один пьезоэлементы.

Для передачи и приема упругих волн необходимо наличие материальной среды, создающей акустический контакт. Этот контакт реализуется через:

- тонкий слой жидкости (контактный способ);
- слой жидкости толщиной h порядка длины волны λ в ней (щелевой способ);
- толстый слой жидкости $h \gg \lambda$ (иммерсионный способ);
- слой эластичного пластика (сухой способ).

На низких частотах (до 100 кГц) применяют сухой точечный контакт через выпуклую поверхность наконечника преобразователя.

Классификация акустических методов неразрушающего контроля представлена на рис. 30.

Активные методы основаны на изучении взаимодействия контролируемого объекта и искусственно созданных упругих колебаний. Пассивные методы основаны на изучении упругих колебаний создаваемых самим объектом контроля.

Методы прохождения используют излучающие и приемные преобразователи, расположенные по разные или по одну сторону контролируемого изделия (рис. 4 а). Применяют импульсное или (реже) непрерывное излучение и анализируют сигнал, прошедший через контролируемый объект. Информативными параметрами являются: изменение амплитуды волны, время запаздывания волны и т.д.

Методы собственных частот основаны на измерении этих частот (или спектров) колебаний контролируемых объектов. Собственные частоты измеряют при возбуждении в изделиях как вынужденных, так и свободных колебаниях.

Импедансные методы используют зависимость импедансов изделий при их упругих колебаниях от параметров этих изделий и наличия в них дефектов. Импедансом волны z называется соотношение комплексных амплитуд звукового давления p^* к колебательной скорости v^* в гармонически бегущей волне:

$$z = p^* / v^* .$$

Около 90% объектов акустического контроля в настоящее время контролируются ультразвуковыми эхо-методами. Зеркально – теневой метод применяется в дополнение к эхо- методу для выявления дефектов, дающих слабое отражение ультразвуковых волн. Теневой и эхо-сквозной методы используют только при двустороннем доступе к изделию, для автоматизированного контроля изделий простой формы.

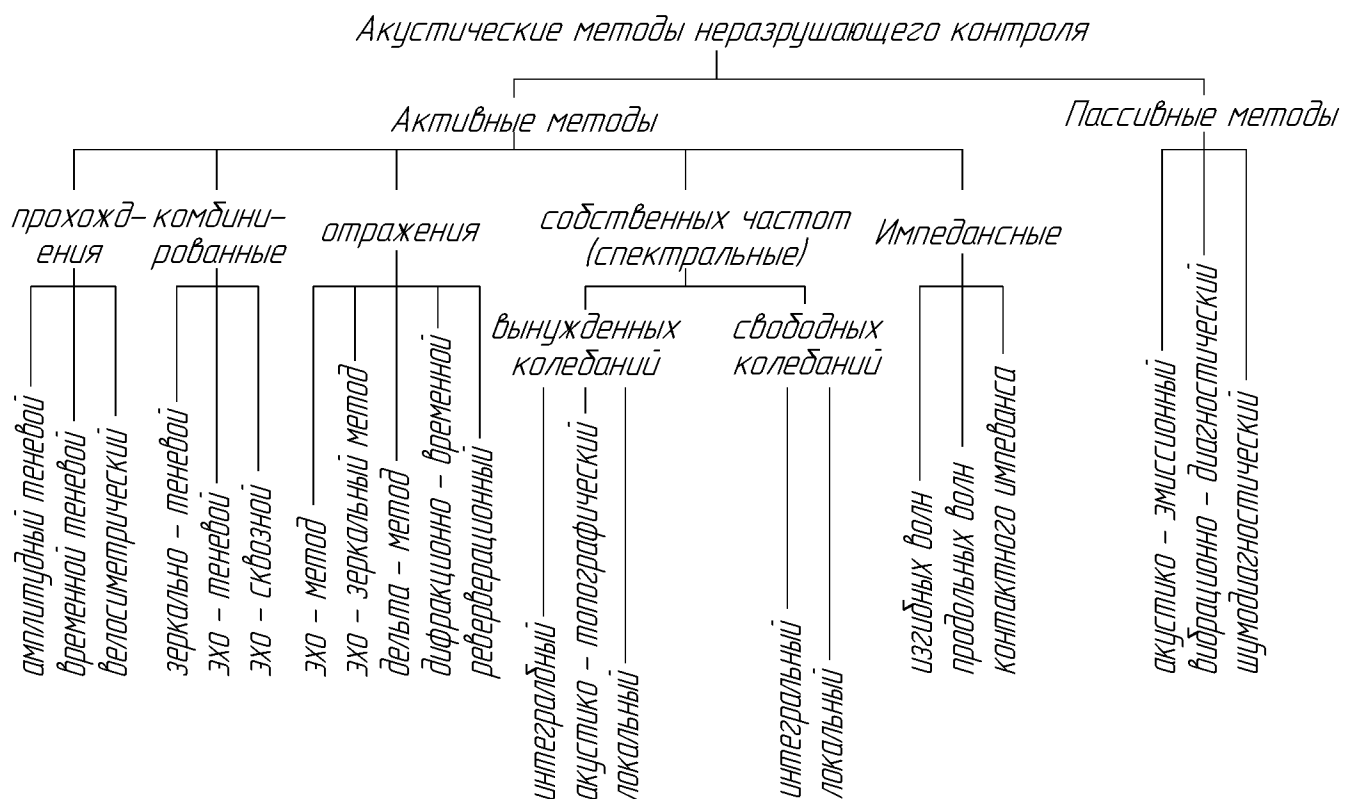


Рис. 3. Классификация акустических методов контроля.

Данные виды контроля применяют для следующих случаев:

1. Контроль отливок. Проводят эхо- и зеркально теневым методами. Дефекты литья (поры, раковины, шлаковые включения) обнаруживаются эхо-методом при прозвучивании с разных сторон. Волосовидные дефекты плохо отражают ультразвук и о наличии таких дефектов судят по ослаблению донного сигнала, применяя зеркально теневой метод.

2. Контроль поковок и штамповок. Поковки (типа роторов и дисков турбин, заготовок штампов, станин, валов, деталей самолетов и т. п.) контролируют эхо- и зеркально теневым методом. Для ответственных деталей предусматривается прозвучивание каждого объема в трех взаимно перпендикулярных направлениях.

3. Контроль проката и проволоки. Листы и плиты контролируют теневым, эхо-, эхо-сквозным и зеркально теневым методами. Трубы, прутки и заготовки круглого и прямоугольного сечений контролируют эхо-методом. При контроле труб обеспечивают взаимное перемещение преобразователя и трубы по винтовой линии.

4. Контроль сварных соединений. В большинстве случаев проводят эхо-методом. При контроле угол ввода колебаний выбирают таким образом, чтобы расстояние от преобразователя до шва было минимальным, а направление луча – возможно близким к нормали по отношению к сечению, в котором площадь ожидаемых дефектов максимальна.

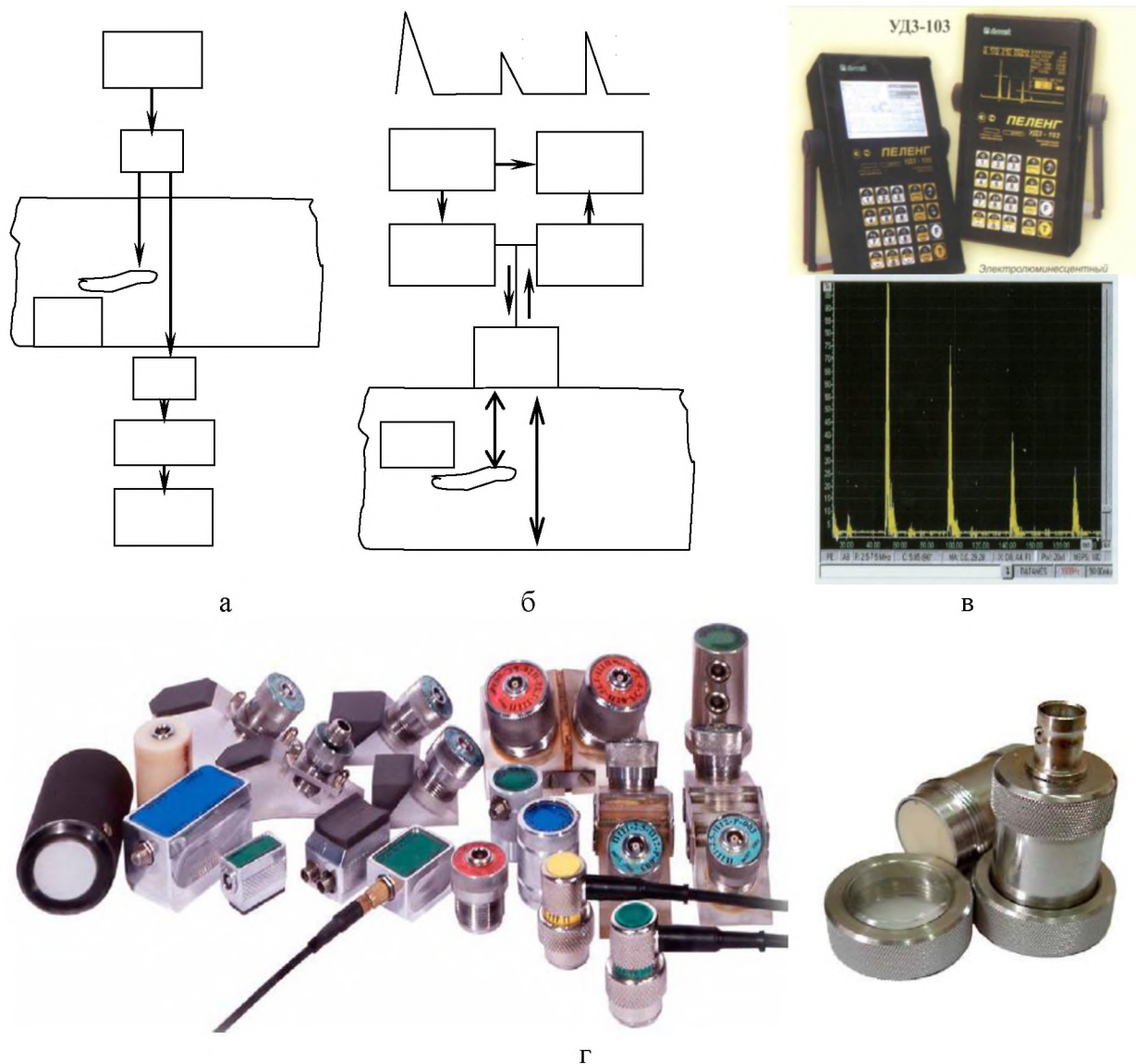


Рис.4. Ультразвуковой метод. а) Схема теневого метода; б) Схема эхо метода
 в) Ультразвуковой дефектоскоп и изображение на его экране. 1-генератор импульсов; 2-излучатель; 3-объект контроля; 4-приёмник; 5- усилитель; 6-измеритель амплитуды; 7-индикатор; 8-синхронизатор; г) Ультразвуковые преобразователи

В методах отражения используют один или два преобразователя (Рис.4 б). Применяют импульсное излучение и анализируют посланный (зондирующий) I, отраженный от противоположной поверхности (дна) изделия (донный) III сигнал и эхо-сигнал от дефекта II. На рис. 5 показана блок-схема и принцип работы эхо-дефектоскопа, а на рис.6 - принцип обнаружения дефектов по амплитудно-частотному анализу акустических сигналов.

Ультразвуковой контроль является одним из самых используемых при диагностировании, а рынок приборов ультразвукового контроля - один из самых широких. Появляются установки для контроля проката, труб, трубопроводов, рельсов, бетона, композиционных материалов.

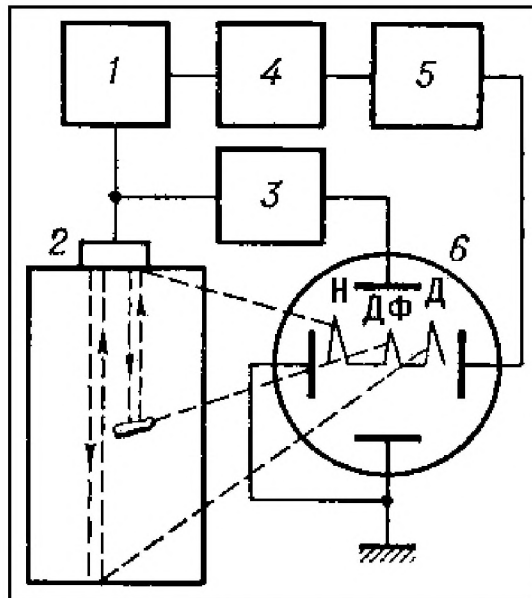


Рис. 5. Блок-схема ультразвукового эхо-дефектоскопа: 1 — генератор электрических импульсов; 2 — пьезоэлектрический преобразователь (искательная головка); 3 — приёмно-усилительный тракт; 4 — хронизатор; 5 — генератор развёртки; 6 — экран дефектоскопа; Н — начальный сигнал; Д — донный эхосигнал; ДФ — эхосигнал от дефекта.

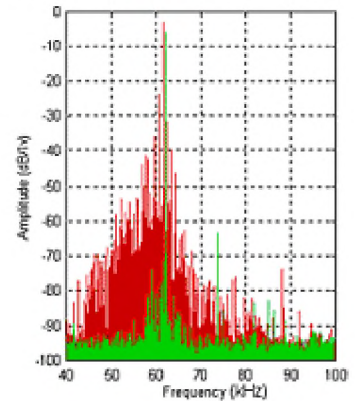
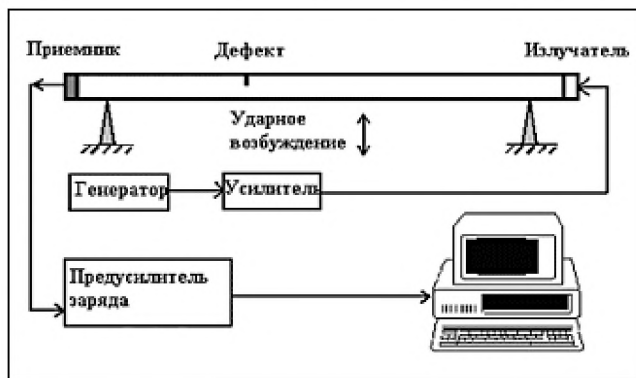


Рис. 6. Нелинейная акустика. Нелинейно-модуляционная диагностика микротрещин в осях ж/д колесных пар: зеленый – спектр модуляции для оси без дефекта, красный – для оси с одиночной трещиной (контраст уровней модуляции составляет 45 дБ).

Метод акустической эмиссии. Общие сведения

Наиболее характерным пассивным методом является акустико-эмиссионный. Этот метод основан на анализе акустических волн возникающих в материале в результате пластических деформаций (перемещение дислокаций) и повреждений структуры (образование, рост и накопление микротрещин). Метод АЭ основан на регистрации и анализе акустических волн, возникающих в процессе пластической деформации и разрушения (роста трещин) контролируемых объектов. Это позволяет формировать адекватную систему классификации дефектов и критерии оценки состояния объекта, основанные на реальном влиянии дефекта на объект. Кроме этого, источниками АЭ могут быть процессы трения и износа, радиационного, химического и электрохимического взаимодействия, утечки жидкости или газа, фазовые превращения.

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 мм. Предельная чувствительность акустико-эмиссионной аппаратуры по теоретическим оценкам составляет порядка 1×10^{-6} мм², что соответствует выявлению скачка трещины протяженностью 1 мкм на величину 1 мкм;
- свойство интегральности метода АЭ контроля обеспечивает контроль всего объекта с использованием одного или нескольких преобразователей АЭ контроля, неподвижно установленных на поверхности объекта;
- метод АЭ позволяет проводить контроль различных технологических процессов и процессов изменения свойств и состояния материалов;
- положение и ориентация объекта не влияет на выявляемость дефектов;
- метод АЭ имеет меньше ограничений, связанных со свойствами и структурой материалов; Особенностью метода АЭ, ограничивающей его применение, является в ряде случаев трудность выделения сигналов АЭ из помех. Это объясняется тем, что сигналы АЭ являются шумоподобными, поскольку АЭ есть стохастический импульсный процесс. Поэтому, когда сигналы АЭ малы по амплитуде, выделение полезного сигнала из помех представляет собой сложную задачу.

При развитии дефекта, когда его размеры приближаются к критическому значению, амплитуда сигналов АЭ и темп их генерации резко увеличивается, что приводит к значительному возрастанию вероятности обнаружения такого источника АЭ.

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

Целью АЭ контроля является обнаружение, определение координат и слежение (мониторинг) за источниками акустической эмиссии, связанными с несплошностями на поверхности или в объеме стенки объекта контроля, сварного соединения и изготовленных частей и компонентов. Все индикации, вызванные источниками АЭ, должны быть при наличии технической возможности оценены другими методами неразрушающего контроля. АЭ метод может быть использован также для оценки скорости развития дефекта в целях заблаговременного прекращения испытаний и предотвращения разрушения изделия.

АЭ-контроль технического состояния обследуемых объектов проводится только при создании в конструкции напряженного 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 и условиями его работы, характером испытаний и приводится в "Программе работ по АЭ контролю объектов".

Различные системы АЭ-контроля показаны на рис.7. Акустические волны (сигналы) принимаются через контактирующие с изделием пьезопреобразователи. Метод акустической эмиссии позволяет не только обнаруживать существование дефектов, но и определять кинетику микротрещинообразования. Также данный метод позволяет определять координаты нахождения дефекта (источника сигнала).

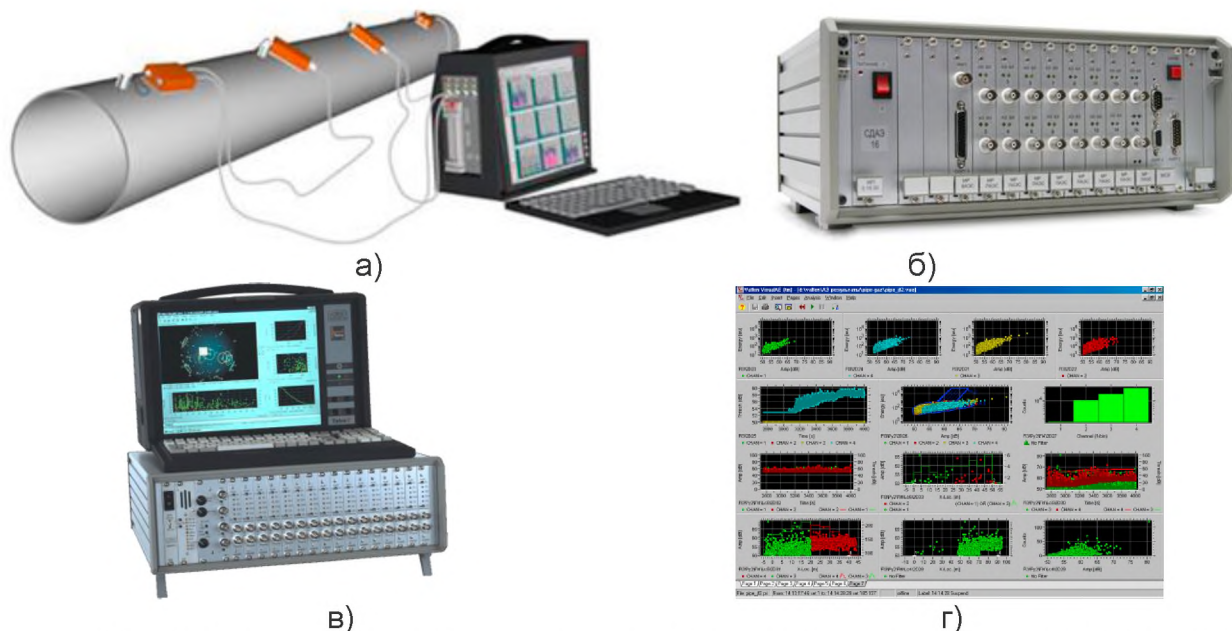


Рис. 7. Схематичное изображение акустико-эмиссионного контроля трубопровода системой A-Line 32D производства фирмы «Интерюнис»(а), внешний вид 16-канальной системы фирмы «Промдиагностика» (б) и 32-канальной производства Vallen-Systeme (Германия) (в) и программная поддержка неограниченного числа графиков в сочетании с многостраничной организацией (г).

Вихревые методы контроля

Физические основы и область применения метода вихревых токов

Вихревые методы контроля основаны на анализе изменения в месте дефекта поля вихревых токов (в диапазоне от 10 Гц до 6 МГц), наводимых в электропроводящем объекте электромагнитным полем преобразователя (рис. 8). Интенсивность и распределение вихревых токов в объекте зависит от его геометрических размеров, электромагнитных параметров и от взаимного расположения преобразователей и объекта. Это позволяет осуществлять многопараметровый контроль.

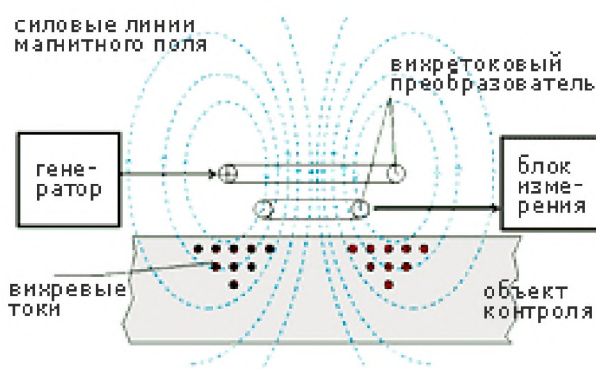


Рис.8. Функциональная схема вихретокового метода неразрушающего контроля.

Метод применим только для контроля объектов хотя бы частично состоящих из электропроводящих материалов. По характеру взаимодействия внешнего электромагнитного поля с полем наведённым в объекте контроля метод может быть разделён на метод прошедшего и отражённого поля. Метод предусматривает измерение при разных настройках измерительной схемы двух условных величин U и C , отражающих изменение параметров катушки преобразователя за счёт изменения электросопротивления и магнитной

проницаемости поверхностного слоя на участках расположения дефектов. Измерительная схема (рис.9 а) представляет собой схему параллельного колебательного контура, образованного индуктивностью катушки преобразователя $L1$, магазином ёмкостей C и активным сопротивлением контура $R1$. Контур питается током I от высокочастотного генератора E через добавочный резистор R_q таким образом, что схема работает в режиме постоянства величины тока I . Условно участок поверхностного слоя, в котором циркулируют вихревые токи, изображён контуром с эквивалентной индуктивностью $L2$ и активным сопротивлением R . Между катушкой преобразователя и участком детали существует электромагнитная связь M . Резонансная кривая измерительного контура показана на рис. 60 б. Схема предусматривает резонансный режим

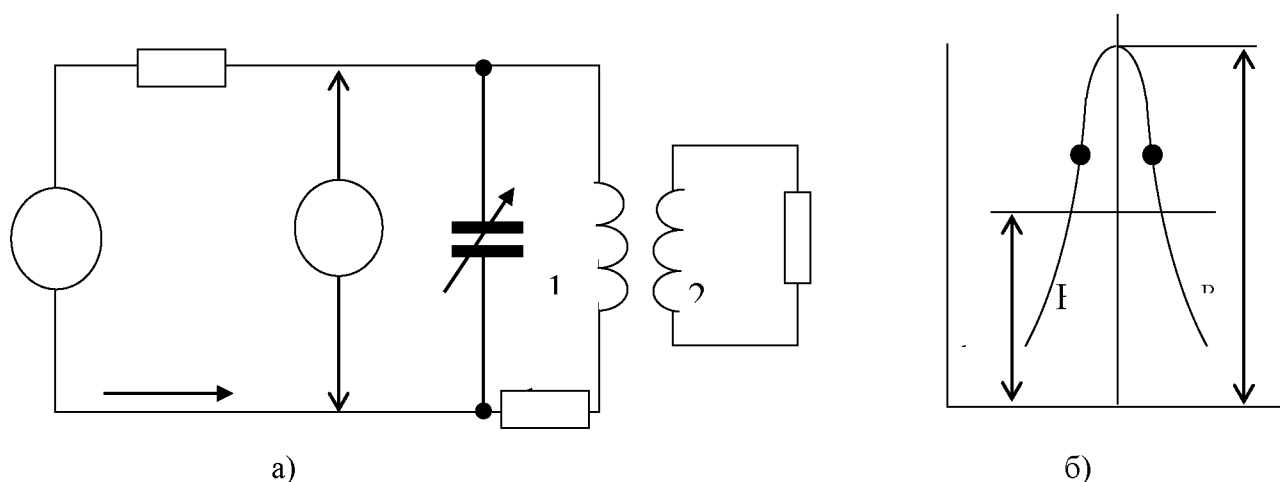


Рис.9. Измерительная схема (а) и резонансная кривая (б) измерительного колебательного контура.

работы, а также режим работы на склоне левой (точка А) и правой (точка Б) ветвей резонансной кривой. Определение изменений параметров катушки преобразователя за счёт дефектов производится путём измерения на данной испытательной частоте напряжения на катушке и ёмкости параллельного колебательного контура, в который включена катушка. С целью увеличения чувствительности не изменяющуюся за счёт дефектов часть напряжения на катушке отсекают напряжением E_k а оставшуюся часть усиливают. Ёмкость контура разделяют на постоянную и переменную части. Усиленную часть напряжения U и переменную часть ёмкости C измеряют в условных единицах.

Аналитическое рассмотрение этой схемы на основе теории связанных контуров приводит к сложным формулам, которые в практике контроля нельзя использовать, так как в местах расположения дефектов магнитная проницаемость и удельное сопротивление изменяются по неизвестным законам. Однако во многих случаях контроля экспериментальным путём можно установить, что при прочих равных условиях с увеличением удельного сопротивления поверхностного слоя резонансное напряжение U возрастает, а с увеличением магнитной проницаемости резонансная ёмкость C уменьшается. При проведении испытаний на величины U и C могут оказать влияние мешающие факторы: случайное поднятие датчика, неидентичность ориентации его, приближение датчика к краю или выступу детали, изменение чистоты поверхности, колебание размеров детали в пределах допусков.

Плотность вихревых токов в объекте зависит от геометрических и электромагнитных параметров объекта, а также от взаимного расположения измерительного вихревого преобразователя и объекта. В качестве преобразователя используют обычно индуктивные катушки. Синусоидальный или импульсный ток, действующий в катушках, создает электромагнитное поле, которое возбуждает вихревые токи в электропроводящем объекте. Электромагнитное поле вихревых токов воздействует на катушки преобразователя-

ля, наводя в них ЭДС или изменяя их полное электрическое сопротивление. Регистрируя напряжение на зажимах катушки или сопротивление, получают информацию о свойствах объекта и о положении преобразователя относительно него.

Как ЭДС, так и сопротивление преобразователя зависит от многих параметров объекта контроля, что определяет трудности реализации вихретоковых методов: требуются специальные приемы для разделения информации об отдельных параметрах объекта. При контроле одного из параметров влияние остальных на сигнал преобразователя служит источником помех. Применяется разностная или сравнительная расшифровка; для каждого контролируемого параметра или типа дефекта требуется эталонный образец.

Вихретоковой контроль проводится без контакта преобразователя и объекта, их взаимодействие обычно происходит на расстояниях, достаточных для свободного движения преобразователя относительно объекта (до нескольких миллиметров). Поэтому контроль дает хорошие результаты даже при высоких скоростях движения объекта.

На сигналы преобразователя практически не влияют влажность, давление и загрязненность газовой среды, радиоактивные излучения, загрязнение поверхности объекта контроля непроводящими веществами. Преобразователи отличаются простотой конструкции и устойчивы к механическим и атмосферным воздействиям, могут работать в агрессивных средах в широком интервале температур и давлений.

Несмотря на ограничения по электропроводимости, вихревой контроль применяется для дефектоскопии, определения размеров и структуроскопии различных материалов и изделий.

Вихретоковую дефектоскопию применяют:

- для обнаружения поверхностных дефектов – трещин, раковин, волосовин – глубиной более 0,1 мм на металлических изделиях (трубах, прутках, листах и др.), а также для обнаружения более грубых подповерхностных дефектов, расположенных на глубине до 8 – 10 мм;
- для измерения размеров и метрологии толщины стенок и толщины покрытий;
- для определения физико-механических свойств;
- для определения компонентного и химического состава;
- для определения динамических характеристик и влияния термообработки.

Вихретоковый контроль размеров применяют для измерения:

- диаметра проволоки, прутков и труб,
- толщины металлических листов и стенок труб при одностороннем доступе к объекту,
- толщины электропроводящих (например, гальванических) и диэлектрических (например, лакокрасочных) покрытий на электропроводящих основаниях,
- толщину слоев многослойных структур, содержащих электропроводящие слои.

Измеряемые толщины могут изменяться в пределах от микрометров до десятков миллиметров. Погрешность измерения обычно составляет $2 \div 5$ %. Вихревой контроль позволяет измерять зазоры, перемещения и вибрации в машинах и механизмах.

Электрические и магнитные характеристики металлов и сплавов связаны со структурным состоянием, что позволяет применять вихревые методы для контроля этого состояния, а также определять механические напряжения. Примером использования служит сортировка металлических материалов и графитов по маркам, контроль качества термической и химико-термической обработки, механической обработки (шлифование, наклеп), обнаружение остаточных механических напряжений, выявление усталостных трещин в металлах на ранних стадиях их развития. Вихретоковыми методами определяют поверхностные дефекты валков, что позволяет одновременно выявлять поверхностные трещины, а также структурные изменения и изменения твердости непосредственно во время процесса обработки шлифованием. На рис.10 показаны зависимости величины напряжений U от числа N циклов нагружения поверхностных слоёв образцов-колец стали ШХ 15 при контактных нагружениях при различных частотах катушки преобразователя (а) и от глубины проникновения δ вихревых токов при контактной нагрузке 2800 МПа и различном числе

нагружений N (б). Эти зависимости связывались с зависимостями роста концентрации усталостных повреждений.

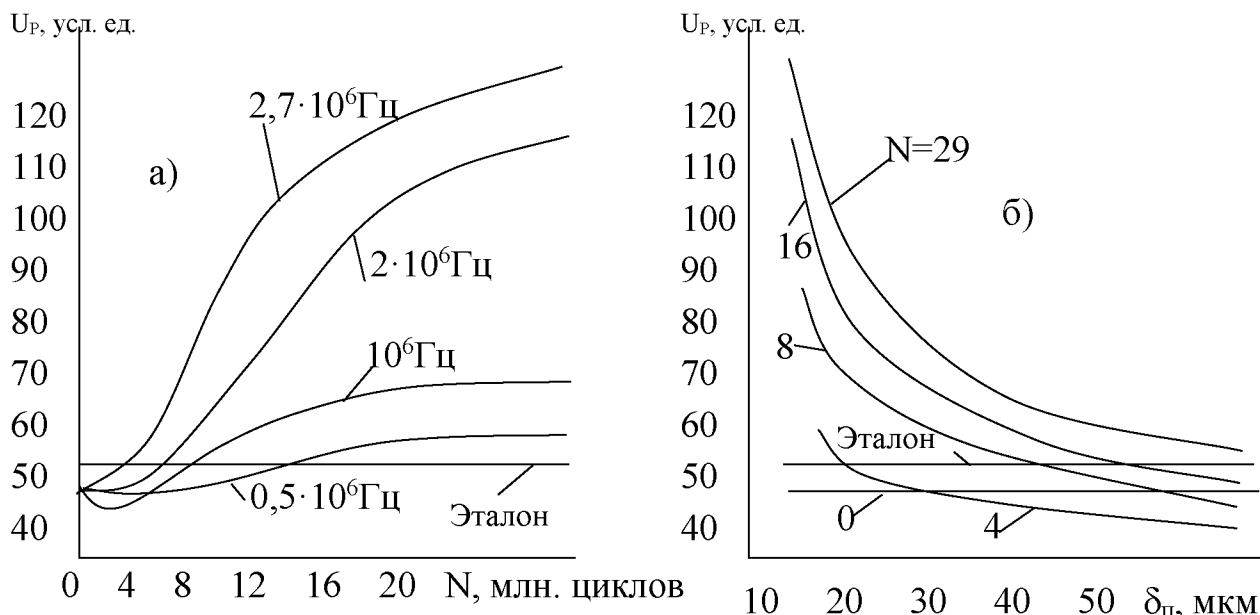


Рис. 10. Связь параметров колебательного контура и повреждаемости образца

Классификация преобразователей

По рабочему положению относительно объекта контроля преобразователи делят на проходные, накладные и комбинированные.

Накладные преобразователи обычно представляют собой одну или несколько катушек, к торцам которых подводится поверхность объекта. Катушки таких преобразователей могут быть круглыми коаксиальными, прямоугольными, прямоугольными крестообразными, с взаимно перпендикулярными осями и др.

Накладные преобразователи выполняют с ферромагнитными сердечниками или без них. Благодаря ферромагнитному сердечнику (обычно ферритовому) несколько повышается абсолютная чувствительность преобразователя и уменьшается зона контроля за счет локализации магнитного потока.

Проходные преобразователи делят на наружные, внутренние, погружные. Отличительная особенность проходных преобразователей в том, что в процессе контроля они проходят либо снаружи объекта, охватывая его (наружные), либо внутри объекта (внутренние), либо погружаются в жидкий объект (погружные). Обычно проходные преобразователи имеют однородное магнитное поле в зоне контроля, в результате чего радиальные смещения однородного объекта контроля не влияют на выходной сигнал преобразователя. Для этого длина L_B возбуждающей обмотки должна не менее чем в 3 ÷ 4 раза превышать ее диаметр D_B , а длина L_I измерительной обмотки, размещенной в середине возбуждающей обмотки, должна быть значительно меньше длины последней.

Комбинированные преобразователи представляют собой комбинацию накладных и проходных преобразователей. К этому типу относятся также преобразователи в виде линейно-протяженных рамок, которые можно условно назвать линейными.

Особую разновидность представляют собой *экранные* преобразователи, отличающиеся тем, что их возбуждающие и измерительные обмотки разделены контролируемым объектом. Различают накладные экранные и проходные экранные преобразователи.

По виду преобразования параметров объекта в выходной сигнал преобразователи делят на трансформаторные и параметрические. В *трансформаторных* преобразователях, имеющих как минимум две обмотки (возбуждающую и измерительную), параметры

объекта контроля преобразуются в напряжение измерительной обмотки, а в *параметрических* преобразователях, обычно имеющих одну обмотку, – в комплексное сопротивление. Преимуществом параметрических преобразователей является простота, а недостатком – сильно выраженная зависимость выходного сигнала от температуры преобразователя.

В зависимости от способа соединения обмоток различают абсолютные и дифференциальные преобразователи.

Выходной сигнал *абсолютного* преобразователя определяется абсолютным значением параметров объекта, а *дифференциального* – приращениями этих параметров. Выходной сигнал дифференциального преобразователя зависит и от абсолютных значений параметров объекта, но при малых приращениях этих параметров можно считать, что он определяется только приращениями.

Накладными преобразователями контролируют в основном объекты с плоскими поверхностями и объекты сложной формы. Эти преобразователи применяют также, когда требуется обеспечить локальности и высокую чувствительность контроля. Наружными проходными преобразователями контролируют линейно-протяженные объекты (провода, прутки, трубы и т.д.); они применяются также при массовом контроле мелких изделий. Внутренними проходными преобразователями контролируются внутренние поверхности труб, а также стенки отверстий в различных деталях. Проходные преобразователи дают интегральную оценку контролируемых параметров по периметру объекта, поэтому они обладают меньшей чувствительностью к локальным вариациям его свойств.

Погружные преобразователи применяют для контроля жидких сред, экранные накладные – для контроля листов, фольги, тонких пленок, экранные проходные – для контроля труб.

С помощью дифференциальных преобразователей «самосравнения» можно резко повысить отношение сигнал/помеха в дефектоскопии. При этом обмотки преобразователя размещают так, чтобы их сигналы исходили от близко расположенных участков контроля одного объекта. Это позволяет уменьшить влияние плавных изменений электрофизических и геометрических параметров объектов. При использовании проходных преобразователей с однородным магнитным полем в зоне контроля значительно уменьшается влияние радиальных перемещений объекта. При применении экранных накладных преобразователей практически исключается влияние радиальных перемещений объекта. Применение экранных накладных преобразователей позволяет практически исключить влияние смещений объекта между возбуждающей и измерительной обмотками. Преобразователи с взаимно перпендикулярными осями обмоток нечувствительны к изменению электрофизических характеристик однородных объектов. При нарушении однородности объекта, например при появлении трещин, на выходе такого преобразователя возникает сигнал. Аналогично работают и комбинированные преобразователи. Они также могут использоваться для дефектоскопии. Их недостаток – сильное влияние перекосов осей преобразователей относительно поверхности объектов контроля.

Амплитудный, фазовый, амплитудно-фазовый и спектральный методы контроля

Сигналы преобразователей (изменение напряжения или сопротивления) имеют комплексный характер, учитываемый с помощью диаграмм в комплексных плоскостях напряжений U или сопротивлений Z . Таким образом, при контроле объектов из линейных материалов на одной частоте сигнал имеет два параметра (амплитуду и фазу U ; действительную и мнимую составляющие U или Z ; модуль и аргумент Z). Это позволяет реализовать двухпараметровый контроль, если влияние параметров объекта на параметры сигнала различно.

При двухпараметровом контроле в качестве носителя информации может быть использована либо амплитуда напряжения преобразователя, либо его фаза, либо проекция

вектора приращения напряжения на выбранное в комплексной плоскости направление, либо одна из составляющих (действительная или мнимая) комплексного напряжения, либо их комбинация.

Амплитудный способ духпараметрового контроля целесообразно применять, когда годографы вносимого в преобразователь напряжения близки к дугам концентрических окружностей.

На основе фазового метода контроля реализуется фазовый способ подавления влияния вариации диаметра (зазора). Фазовый способ оказывается эффективным при измерении накладным экраным преобразователем толщины неферромагнитных листов.

Методы высших гармоник и модуляционного анализа

Возможность применения *спектрального анализа* сигналов преобразователя определяется тем, что в процессе воздействия монохроматического электромагнитного поля на объект в сигналах преобразователя появляются составляющие частот, отличающиеся от частоты первой гармоники генератора. Это может происходить за счет проявления нелинейных свойств материала изделия или за счет изменения во времени каких-либо факторов контроля. В первом случае возникают кратные гармоники основной частоты, которые несут дополнительную информацию о свойствах объекта. Метод, основанный на анализе параметров кратных гармонических составляющих, называется *методом высших гармоник*. Он получил применение при контроле ферромагнитных материалов. Метод, основанный на обработке спектра модуляционных колебаний, называют модуляционным.

Метод высших гармоник основан на возбуждении синусоидального магнитного поля с большой амплитудой напряженности для проявления нелинейных свойств материала и включает последующий анализ высших гармоник. Специфичная особенность метода высших гармоник состоит в необходимости выделения отдельных гармоник, для чего применяют различные фильтры и измерительные усилители. Обычно анализируется амплитуда или амплитуда и фаза третьей (реже пятой) гармоники. Устройства, в которых реализуется метод высших гармоник, сложны. Помимо этого, повешенные требования предъявляются и к бокам. Так, необходима повышенная стабильность частоты, амплитуды и формы кривой тока возбуждения. Более стабильными должны быть амплитудные и фазовые характеристики преобразовательных блоков.

Основная область применения метода высших гармоник – контроль электромагнитных свойств ферромагнитных объектов и на этой основе контроль некоторых физико-химических свойств, однозначно связанных с электромагнитными.

Модуляционный метод обычно используют в дефектоскопии для оценки пространственного распределения свойств объекта. Если преобразователь и объект взаимно перемещаются, то изменения свойств объекта, распределенные в пространстве, преобразуются в изменения сигнала во времени. На этом основано действие приборов для контроля модуляционным методом протяженных объектов (листов, прутков, проволоки и т.д.). Полученный от преобразователя сигнал усиливается и детектируется, а затем анализируется огибающая высокочастотных колебаний. Возможность отдельного контроля различных факторов определяется различием формы импульсов сигналов, что приводит к появлению соответствующих вариаций в их спектре.

Сигналы обрабатываются с помощью специальных устройств, анализирующих спектр огибающей, длительность импульсов разного уровня на заданном интервале времени, последовательность их появления. В общем случае для анализа могут быть применены методы теории помехоустойчивости, а за основу приняты статистические данные о сигналах и помехах. Метод широко используется в дефектоскопах с проходными и накладными преобразователями.

Для разделения информации о нескольких (более двух) параметрах неподвижного относительно преобразователя объекта из материала с постоянными свойствами необходимо воздействовать на объект магнитными полями нескольких частот, либо использовать накладные преобразователи различного диаметра.

Вихревые дефектоскопы

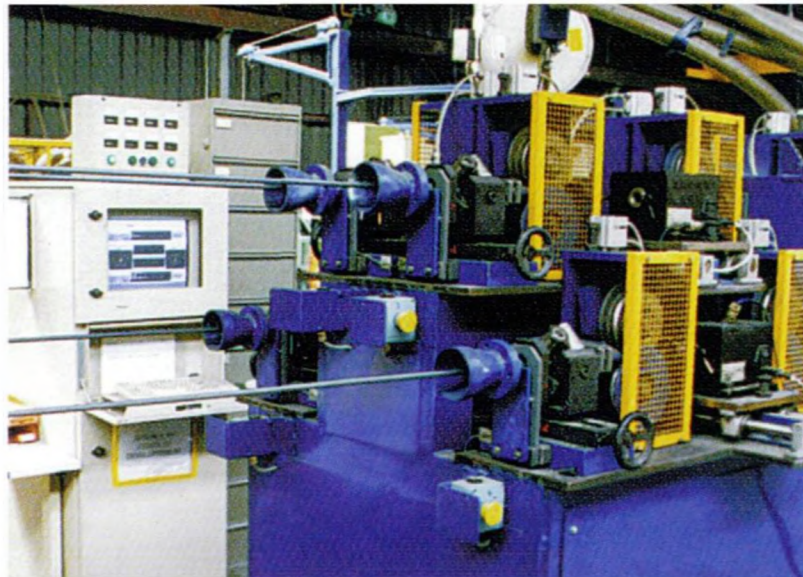
При автоматизированном, высокоскоростном и бесконтактном контроле качества эффективно применяются дефектоскопы с проходными преобразователями, позволяющие проверять в широком диапазоне типоразмеров протяженные объекты (трубы, прутки, проволоку с поперечными размерами $0,05 \div 135$ мм) и мелкие детали (шарики и ролики подшипников, иглы, метизы и т.д., рис. 11, 12). При этом производительность контроля может достигать 50 м/с (для проволоки) или нескольких тысяч мелких деталей в час. Производительность контроля труб, прутков ограничивается инерционностью устройств транспортирования и разбраковки и редко превышает 3 м/с.

В дефектоскопах обычно используются дифференциальные преобразователи самосравнения с малой базой, с однородным и неоднородным полем в зоне контроля. Применение преобразователей с неоднородным полем обусловлено стремлением уменьшить длину возбуждающей катушки для сокращения общей длины преобразователя при контроле объектов большого диаметра. При этом приходится принимать меры для стабилизации положения объекта. Для уменьшения возможных радиальных перемещений объекта и поддержания коэффициента заполнения на определенном уровне, определяющем чувствительность, дефектоскопы снабжают набором преобразователей различного диаметра. При использовании преобразователей с однородным полем можно значительно уменьшить число их типоразмеров, компенсируя изменение чувствительности регулированием возбуждающего тока.

Различные дефектоскопы могут работать при постоянной или переменной скорости движения контролируемого объекта. Некоторые дефектоскопы могут работать и в статическом режиме (при неподвижном объекте), однако этот режим не является основным и обычно используется при настройке прибора. Статический режим характерен для *структуроскопов*, которые можно применять в целях дефектоскопии. Основным параметром дефектоскопа – *порог чувствительности* – определяется минимальными размерами дефекта заданной формы, при которых отношение сигнал/помеха составляет не менее двух. Порог чувствительности обычно устанавливают на калиброванных образцах с искусственными дефектами различной формы, например в виде отверстий разного диаметра и глубины в трубах и прутках, в виде продольных рисок на проволоке и т.д. Реальный порог чувствительности зависит от уровня помех, связанных с вариацией параметров объекта, шероховатости поверхности и т.д. Порог чувствительности дефектоскопов с проходными преобразователями обычно определяется глубиной узкого длинного продольного дефекта, выраженной в процентах от поперечного размера (диаметра) детали.



а)



б)



в)



г)

Рис.11. Вихревые проволочные дефектоскопы (а), технологический процесс контроля проволоки (б), вихретоковая система (в) и автомобильные детали, контролируемые с её помощью (г).



а)



б)

Рис. 12. Контроль разнообразных металлических изделий портативным вихретоковым дефектоскопом ВДЗ-71 фрагмента боковой рамы (а); вагонной оси подвижного состава (б).

Бесконтактность, высокое быстродействие, терпимость к состоянию внешней поверхности объекта контроля делает данный метод основным при поточном контроле труб и проката. Для этой цели используют дефектоскопы с проходными или с накладными

вращающимися преобразователями. Контроль обычно осуществляется на установках или роторного типа, когда вокруг движущейся поступательно трубы вращается измерительный модуль, или статического типа, когда труба совершает вращательно-поступательное движение, а измерительный модуль закреплён неподвижно. Дефектоскопы с проходными преобразователями во всём мире контролируют практически весь прокат при высоких скоростях контроля (до 3 м/с, а на проволочных станах до 50 м/с).

Магнитные методы контроля

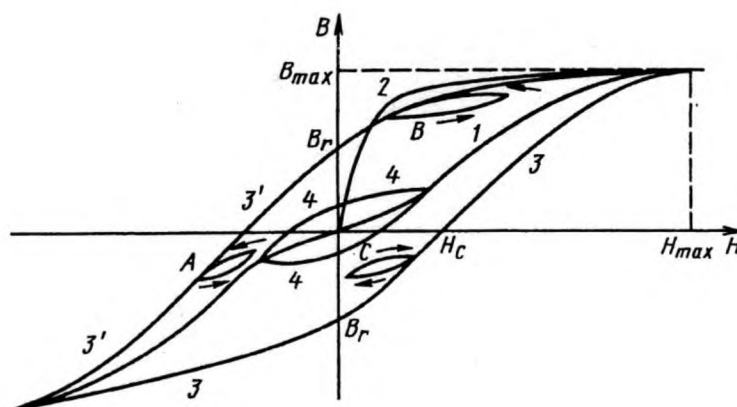
Контроль основан на анализе изменения магнитного поля а процессе взаимодействия с контролируемым объектом. По первичному информативному параметру выделяются пять основных методов контроля: коэрцитивной силы, намагниченности, остаточной индукции, магнитной проницаемости и эффекта Баркгаузена. Магнитные методы контроля общедоступны, динамично развиваются, требуют минимальные теоретические знания, магнит и недорогой аэрозольный баллончик.

Природа диа-, пара- и ферромагнетизма

Всякое вещество является *магнетиком*, то есть способно под действием магнитного поля приобретать магнитный момент (намагничиваться). Намагниченное вещество создает магнитное поле \mathbf{B}' , которое накладывается на обусловленное токами поле \mathbf{B}_0 . Оба поля в сумме дают результирующее поле

$$\mathbf{B} = \mathbf{B}_0 + \mathbf{B}'$$

Для объяснения намагниченности тел Ампер предположил, что в молекулах вещества циркулируют круговые токи (молекулярные токи). Каждый такой ток обладает магнитным моментом и создает в окружающем пространстве магнитное поле. В отсутствие внешнего поля молекулярные токи ориентированы беспорядочным образом, а обусловленное ими результирующее поле равно нулю. Под действием поля магнитные моменты молекул приобретают преимущественную ориентацию в одном направлении, а магнетик – намагничивается, то есть его суммарный магнитный момент становится отличным от нуля. Магнитные поля отдельных молекулярных токов не компенсируют друг друга и возникает поле \mathbf{B}' .



Петля магнитного гистерезиса:

1 – основная кривая намагничивания; 2 – идеальная кривая намагничивания; 3, 3' – предельная петля гистерезиса; 4 – частный цикл гистерезиса; A, B, C – частные петли гистерезиса (A, B – частные петли возврата); 3 – восходящая ветвь гистерезиса; 3' – нисходящая

Рис. 13

На рис. 13 приведена петля магнитного гистерезиса – различия в значениях намагниченности B ферромагнетика при одной и той же напряжённости H намагничивающего поля в зависимости от значения предварительной намагниченности ферромагнетика. B_r – остаточная намагниченность, H_C – *коэрцитивная сила* (напряжённость магнитного поля, необходимая для устранения намагниченности). В зависимости от значения коэрцитивной силы ферромагнитные материалы разделяют на магнитно-мягкие ($H_C < 80 \div 800$ А/м) и магнитно-твёрдые ($H_C > 800 \div 8000$ А/м). Первые используют в магнитопроводах, вторые – в постоянных магнитах. Коэрцитивная сила ферромагнитного материала очень чувствительна к изменениям его температуры и внутреннего строения, а также к механическим деформациям, измеряется *коэрцитиметром*

Намагничивание магнетика характеризуется магнитным моментом единицы объема – намагниченностью J . Наряду с приведенными выше, вводится *напряжённость магнитного поля H* , значение которой определяют исключительно макроскопические токи:

$$H = \frac{B}{\mu_0} - J,$$

Намагниченность принято связывать с напряжённостью магнитного поля. В каждой точке магнетика

$$J = \chi H$$

где χ – *магнитная восприимчивость*, характерная для данного магнетика безразмерная величина.

Наряду с магнитной восприимчивостью пользуются молярной восприимчивостью χ_m :

$$\chi_m = \chi V_m,$$

где V_m – объем моля вещества.

В зависимости от знака и величины магнитной восприимчивости, все магнетики подразделяются на три группы:

- 1) диамагнетики: χ отрицательна и мала по абсолютной величине ($|\chi_m| \sim 10^{-11} \div 10^{-10}$ м³/моль)
- 2) парамагнетики: χ положительна и мала по абсолютной величине ($|\chi_m| \sim 10^{-10} \div 10^{-9}$ м³/моль)
- 3) ферромагнетики: χ положительна и достигает больших значений ($|\chi_m| \sim 1$ м³/моль)

У диа- и парамагнетиков χ не зависит от H , у ферромагнетиков χ является функцией напряжённости магнитного поля.

Особый класс магнетиков образуют вещества, способные обладать намагниченностью в отсутствие внешнего магнитного поля – ферромагнетики. К ним относятся железо, никель, кобальт, гадолиний, их сплавы и соединения, а также некоторые сплавы и соединения марганца и хрома с неферромагнитными элементами. Ферромагнетизм присущ всем этим веществам только в кристаллическом состоянии.

Ответственными за магнитные свойства ферромагнетиков являются собственные (спиновые) магнитные моменты электронов. При определенных условиях в кристаллах могут возникать силы, которые заставляют магнитные моменты электронов выстраиваться параллельно друг другу. В результате возникают области *спонтанного* (самопроизвольного) *намагничивания*, которые называют также *доменами*. В пределах каждого домена ферромагнетик спонтанно намагничен до насыщения и обладает определенным магнитным моментом. Направления этих моментов для различных доменов различны, и в отсутствие внешнего поля суммарный момент всего тела равен нулю. Домены имеют размеры порядка 1 – 10 мкм. При воздействии магнитного поля имеет место поворот магнитных моментов доменов в направлении поля. При этом моменты электронов в пределах домена поворачиваются одновременно, без нарушения их строгой параллельности друг другу.



Рис. 14. Ориентация доменов в материалах различной степени намагниченности.

Действие поля на домены на разных стадиях процесса намагничивания оказывается различным. При слабых полях происходит смещение границ доменов и увеличение тех доменов, моменты которых составляют с \mathbf{H} меньший угол. С увеличением напряженности поля этот процесс приводит к поглощению всех энергетически не выгодных доменов. На следующей стадии имеет место поворот магнитных моментов доменов в направлении поля. При этом моменты электронов в пределах домена поворачиваются одновременно, без нарушения их строгой параллельности друг другу.

Физические основы магнитных методов контроля

Магнитные методы контроля основаны на исследовании искажения магнитного поля, возникающего в местах дефектов в изделиях из ферромагнитных материалов. Индикатором может служить магнитный порошок (магнитопорошковый метод), магнитная лента (магнитографический метод) феррозонд, индукционная катушка, датчик Холла, магниторезистор и др. Операция намагничивания (помещение изделия в магнитное поле) при этом виде контроля является обязательной.

Чувствительность метода магнитной дефектоскопии зависит от магнитных характеристик материалов, применяемых индикаторов, преобразователей, режимов намагничивания и др. Методом магнитной дефектоскопии можно обнаруживать макродефекты – трещины, раковины, непровары, расслоения на глубине до 10 мм с минимальным размером более 0,1 мм. Контроль структуры и механических свойств изделий осуществляют путем установления корреляционных связей между контролируемым параметром и какой-либо одной или несколькими магнитными характеристиками.

Для измерения размеров магнитными методами контроля в основном измеряют силы отрыва или притяжения постоянных магнитов и электромагнитов к контролируемому объекту. Толщину объекта рассчитывают исходя из зависимости индукции в зазоре между ферромагнитным объектом (магнитом) и намагниченным телом от намагничивающей силы и зазора. Этот метод применяют для контроля толщины немагнитных и гальванических покрытий на магнитной основе.

Наиболее распространен метод измерения толщины, заключающийся в том, что в области магнитной нейтралии либо непосредственно у полюсов магнита с дифференциальным включением размещаются магниточувствительные элементы, в результате чего обеспечивается работа преобразователя в режиме «нулевого» начального сигнала.

Достаточно широкое применение находит и индукционный метод толщинометрии. Метод основан на определении изменения магнитного сопротивления магнитной цепи, состоящей из ферромагнитной основы (изделия), преобразователя и немагнитного зазора между ними. Измерение зазора дает информацию о толщине объекта. Преобразователем в этом случае служат возбуждающая и две индикаторные катушки, расположенные на ферромагнитном сердечнике, включенные по дифференциальной схеме.

Методом вихревых токов измеряют диаметр проволоки, прутков, труб, толщину металлических листов и стенок труб при одностороннем доступе к объекту, толщину электропроводящих и диэлектрических покрытий (гальванических, лакокрасочных и др.) на электропроводящих основаниях, а также толщину слоя многослойных структур, содержащих электропроводящие слои. Диапазон измеряемых толщин – от нескольких микрон до десятков миллиметров; относительная точность измерения 5 – 10 %. Методы вихревых токов позволяют контролировать зазоры, при этом минимальная площадь зоны контроля составляет 1 мм².

Эффект Холла - возникновение поперечного электрического поля в проводнике или полупроводнике с током при помещении его в магнитное поле. Напряжённость электрического поля связывается с магнитной индукцией посредством *постоянной Холла*, зависящей от концентрации и подвижности носителей тока, что используется при исследовании и неразрушающем контроле свойств металлов.

Магнитопорошковый, магнитографический, феррозондовый, индукционный, магниторезисторный, с использованием эффекта Холла методы

Магнитопорошковый контроль состоит из следующих операций: подготовка детали к контролю, намагничивание детали, нанесение на деталь магнитного порошка или суспензии, осмотр детали, разбраковка, размагничивание. Оптимальный способ нанесения суспензии состоит в погружении детали в бак с хорошо перемешанной суспензией. Часто суспензию наносят с помощью шланга или душа с достаточно слабым напором струи. Контролер должен осмотреть деталь после стекания с нее основной массы суспензии, когда картина отложений порошка становится неизменной. Данный подход реализуется при контроле способами приложенного поля и остаточной намагниченности. В первом случае суспензия стекает с детали во время ее намагничивания. Этот способ применяют, когда магнитные характеристики материала детали таковы, что при выключении намагничивания магнитное поле дефекта уменьшается до такой степени, что не может удерживать частицы порошка. В случае, когда при намагничивании деталь сильно нагревается или имеется опасность прижогов мест соприкосновения с токовыми контактами, намагничивание можно периодически прерывать (периоды намагничивания 0,1 – 0,5 с, интервалы 1 – 2 с).

При контроле способом остаточной намагниченности намагничивание, нанесение суспензии и осмотр могут быть разделены во времени промежутком до 1 ч. Детали проверяют визуально, но в сомнительных случаях и для расшифровки характера дефектов применяют оптические приборы. Разбраковку деталей по результатам контроля должен производить опытный контролер. На рабочем месте контролера необходимо иметь фотографии дефектов или их дефектограммы (реплики с отложениями порошка, снятые с дефектных мест с помощью клейкой ленты или другими способами), а также контрольные образцы с минимальными размерами недопустимых дефектов.



Рис. 15. Осадок магнитного порошка (из суспензии) на невидимых глазом закалочных трещинах в стальной детали.

В магнитографической дефектоскопии применяются магнитные ленты. Двухслойные ленты состоят из немагнитной основы (ацетилцеллюлозы, поливинилхлорида, лавсана) и магнитно-активного слоя – порошков окиси железа, взвешенного в лаке, обеспечивающего хорошую адгезию с основой. В однослойных лентах магнитный порошок вводится непосредствен в основу (резина, полиамидные смолы).

Пассивный индукционный преобразователь представляет собой катушку (контур). В соответствии с законом электромагнитной индукции на концах катушки возникает мгновенная электродвижущая сила (ЭДС). Пассивный индукционный преобразователь не может быть использован для измерений постоянных и однородных полей. Чувствительность преобразователя можно повысить при использовании катушек с сердечниками, изготовленными из материалов с высокой магнитной проницаемостью. Это позволяет уменьшить габариты индукционных преобразователей, однако характеристика преобразователя становится нелинейной.

Феррозондовые преобразователи – устройства для измерения напряженности магнитного поля, действие которых основано на нелинейности кривых намагничивания сердечников из магнитных материалов. Происходящие в них процессы связаны с взаимодействием двух полей – внешнего измеряемого поля и дополнительного вспомогательного поля возбуждения, образуемого за счет тока, протекающего в одной из обмоток. Простейший феррозонд (ферроэлемент) состоит из стержневого сердечника с двумя обмотками – возбуждения и индикаторной. С помощью первой обмотки создается поле возбуждения $H_B(t)$, в сердечнике возникает индукция $B(t)$, которая индуцирует магнитную ЭДС. Определяемая ЭДС содержит только нечетные гармоники. При воздействии на сердечник постоянного (измеряемого) поля H_0 в спектре ЭДС появляются четные гармоники, которые (обычно вторая) служат для определения H_0 . Выбором амплитуды поля возбуждения и размеров сердечника добиваются необходимой чувствительности или необходимого диапазона измеряемых полей.

Преобразователи Холла (датчик Холла) – полупроводниковый преобразователь силы электрического тока в напряжение (эдс Холла), действие которого основано на эффекте Холла. Работают по принципу возникновения ЭДС в результате искривления пути носителей тока в металлах и полупроводниках, находящихся в магнитном поле под действием силы Лоренца.

В магниторезисторах используется эффект Гаусса, суть которого заключается в изменении сопротивления проводника или полупроводника с электрическим током при внесении их в магнитное поле. Магниторезисторы изготовляют из материалов с высокой чув-

ствительностью к эффекту Гаусса; к ним относятся антимонид индия (InSb), арсенид индия (InAs), эвтектические сплавы типа InSb – NiSb и InSb – GaSb, а также германий (Ge), теллурий (HgTe), селенид ртути (HgSe) и др. Чувствительность по напряжению магниторезисторов к слабым магнитным полям меньше, чем у преобразователей Холла. Магниторезисторы имеют более высокий коэффициент передачи в полях с индукцией выше 0,2 Тл.

Напряжение (U) на выходе преобразователя

$$U_y = - \frac{R_H}{h} I_x B_z$$

где R_H – постоянная Холла, Ом·м/Тл, зависит от концентрации и подвижности носителей тока;

h – толщина холловской пластины, м;

I_x – управляющий ток преобразователя Холла, А;

B_z – магнитная индукция, Тл.

Способы намагничивания

Для намагничивания деталей применяют постоянный (двухполупериодный выпрямленный, трехфазный выпрямленный), переменный, однополупериодный выпрямленный и импульсный токи. Дефекты оптимально обнаруживаются в случае, когда направление намагничивания контролируемой детали перпендикулярно направлению дефекта. Поэтому простые детали намагничивают в двух направлениях, а детали сложной формы – в нескольких направлениях.

Для создания оптимальных условий контроля применяют три способа намагничивания: *циркулярное, продольное (или полюсное) и комбинированное*. *Циркулярное* намагничивание (рис. 16, а) осуществляется при пропускании тока по контролируемой детали или через проводник, помещенный в отверстие детали. Наиболее эффективно циркулярное намагничивание деталей, имеющих форму тел вращения. При пропускании тока по деталям сложной формы выступы и другие неровности могут быть не намагничены до требуемой степени. В этих местах необходимо измерять напряженность намагниченного поля и специально следить, чтобы она достигла требуемой для контроля величины.

При циркулярном намагничивании направление магнитного потока перпендикулярно направлению тока, поэтому оптимально обнаруживаются дефекты, направление которых совпадает с направлением тока. Одной из разновидностей циркулярного намагничивания является намагничивание путем индуцирования тока в контролируемой детали. Устройства для такого намагничивания представляют собой трансформатор, вторичной обмоткой которого (или частью сердечника) служит контролируемая деталь (рис. 16, б).

Продольное (полюсное) намагничивание осуществляется с помощью электромагнитов, постоянных магнитов или соленоидов. При этом обычно деталь намагничивается вдоль своего наибольшего размера. На ее краях образуются полюсы, создающие поле обратного направления.

Разновидностью полюсного намагничивания является поперечное намагничивание, когда деталь намагничивается в направлении меньшего размера.

Комбинированное намагничивание осуществляется при одновременном намагничивании детали двумя или несколькими изменяющимися магнитными полями. При этом можно применять любое сочетание видов тока. При комбинированном намагничивании необходимо, чтобы суммарный вектор намагниченности поворачивался относительно оси детали хотя бы на 90°. Это достигается применением совместного продольного или циркулярного намагничиваний и использованием для них токов одного вида, отличающихся по фазе, или токов разного вида с соответствующими моментами включения или изменения их величины и направления.

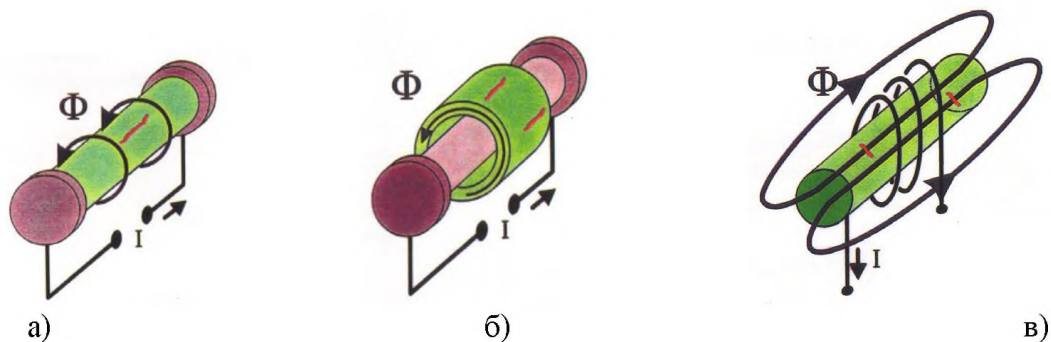


Рис. 16. Способы намагничивания а,б-циркуляционное, в- продольное

Магнитные дефектоскопы, толщиномеры, коэрциметры

Магнитопорошковый дефектоскоп – устройство для выявления нарушений сплошности в изделиях с использованием в качестве индикатора магнитных порошков. Основные узлы дефектоскопа: источники тока, устройства для подвода тока к детали, устройства для полюсного намагничивания (соленоиды, электромагниты), устройства для нанесения на контролируемую деталь магнитной суспензии или сухого порошка, осветительные устройства, измерители тока или напряженности магнитного поля.

В дефектоскопах наиболее широкое распространение получили циркулярное намагничивание пропусканием переменного тока по детали (или через стержень, помещенный в отверстие детали) и продольное намагничивание постоянным током. В дефектоскопах используют также импульсные конденсаторные источники тока. В специализированных дефектоскопах широко применяют индукционный способ намагничивания.

Для магнитопорошкового контроля в основном применяют дефектоскопы трех видов:

- 1) стационарные универсальные;
- 2) передвижные и переносные универсальные;
- 3) специализированные (стационарные, передвижные, переносные).

Стационарные универсальные дефектоскопы используются на предприятиях серийного производства разнотипных деталей. Они позволяют контролировать детали различной конфигурации с производительностью от десятков до нескольких сотен деталей в час. С их помощью можно производить намагничивание всеми способами, контроль в приложенном поле и способом остаточной намагниченности.

Передвижные и переносные универсальные дефектоскопы предназначены для намагничивания и контроля деталей в условиях, когда невозможно применять стационарные дефектоскопы, например при намагничивании крупногабаритных деталей по частям, в случае работы в полевых условиях. Передвижные и переносные универсальные дефектоскопы позволяют производить циркулярное намагничивание с помощью токовых контактов, помещаемых на участке детали, продольное намагничивание с помощью кабеля, навиваемого на деталь, или иногда с помощью электромагнита. Распространены специализированные полуавтоматы для намагничивания деталей с последующим их контролем способом остаточной намагниченности.

Дефектоскоп импульсный роликовый является электромагнитным прибором, используемым в контрольных операциях в цеховых и лабораторных условиях работы. Прибор предназначен для импульсного намагничивания в открытой магнитной цепи соленоида относительно коротких массивных изделий с малой проницаемостью формы. Принцип действия прибора основан на использовании явления «аномальной» намагниченности тел,

возникающего в ферромагнитных проводящих изделиях при быстром спаде намагничивающего поля. Прибор обеспечивает одновременное выявление продольных и поперечных дефектов при одноразовом контроле их в ванне с магнитной суспензией.

Необходимой принадлежностью магнитопорошковых дефектоскопов являются контрольные образцы с тонкими дефектами. Они помогают установить, что оборудование и материалы для контроля являются качественными, а технология контроля соблюдается достаточно точно.

Магнитные толщиномеры предназначены для контроля толщины защитных покрытий на изделиях из ферромагнитных материалов. Большую группу таких приборов составляют толщиномеры пондеромониторного действия, работа которых основана на измерении силы отрыва или притяжения постоянных магнитов и электромагнитов к контролируемому объекту.

На результаты измерений толщины покрытий в значительной степени влияют магнитные свойства материала деталей, на которые нанесено покрытие. Поэтому магнитные толщиномеры калибруются с помощью рабочих образцов, изготовленных из той же стали, что и контролируемые детали, с покрытиями заданной толщины. Состояние поверхности (шероховатость) оказывает значительное влияние на погрешности магнитных (в том числе индукционных) толщиномеров. Основным недостатком приборов этой группы – цикличность процесса измерения, связанная с необходимостью тщательного измерения силы до момента отрыва магнита. Это обстоятельство затрудняет автоматизирование процесса контроля.

Приборы магнитоэлектрического типа не имеют этих недостатков. Их действие основано на определении изменения напряженности магнитного поля (с помощью преобразователей Холла, феррозондов, рамки с током и т.д.) в цепи электромагнита при изменении расстояния между ним и ферромагнитным изделием из-за наличия немагнитного покрытия. На магнитоэлектрическом действии также основаны *магнитные толщиномеры для измерения толщины изделий из ферромагнитных материалов*

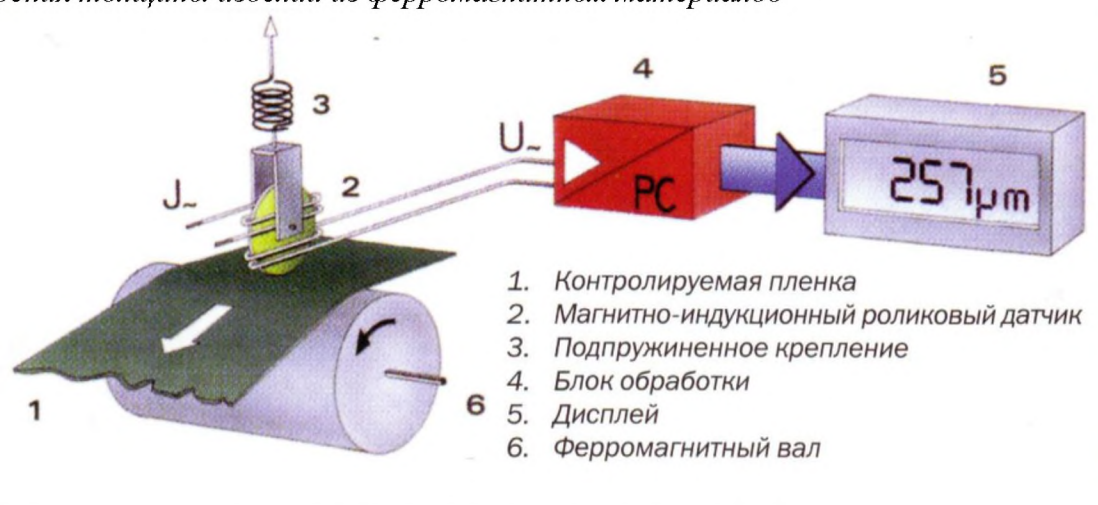


Рис. 17. Магнитная толщинометрия плёнки

Существует корреляция между твердостью углеродистых и низколегированных сталей и их коэрцитивной силой. Существование таких зависимостей позволяет определять магнитными методами глубину закаленного и цементированного слоев углеродистых сталей. Контроль проводят коэрцитиметром (определяется коэрцитивная сила материала). Для использования такой методики при контроле требуется предварительное определение статистических зависимостей коэрцитивной силы и определяемого параметра, а также калибровка прибора на стандартных образцах.

Недорогие и качественные магнитные толщиномеры покрытий серийно выпускают фирмы “АКА-контроль”, “АСК-Рентген”, “Хеллинг” поставляющие также на российский рынок расходные материалы и принадлежности для магнитопорошкового контроля. При-

боры позволяют контролировать состояние турбинных лопаток, определяя величину и направление развития будущей трещины, начиная с уровня структуры материала. Существуют методики оценки износостойкости объёмно упрочнённых изделий, использующие зависимость износостойкости сталей с мартенситной основой от содержания углерода, который сильно влияет на магнитные и электромагнитные характеристики закалённых сталей. Существуют приборы, контролирующие термическую, термомеханическую, химико-термическую обработку, остаточные и приложенные напряжения в сварных швах и в арматурной стали строительных конструкций, поверхностные пластические деформации, определяющие толщину упрочнённого слоя, выявляющие поверхностные дефекты типа трещин, расслоений и т.д. (рис. 18-20).

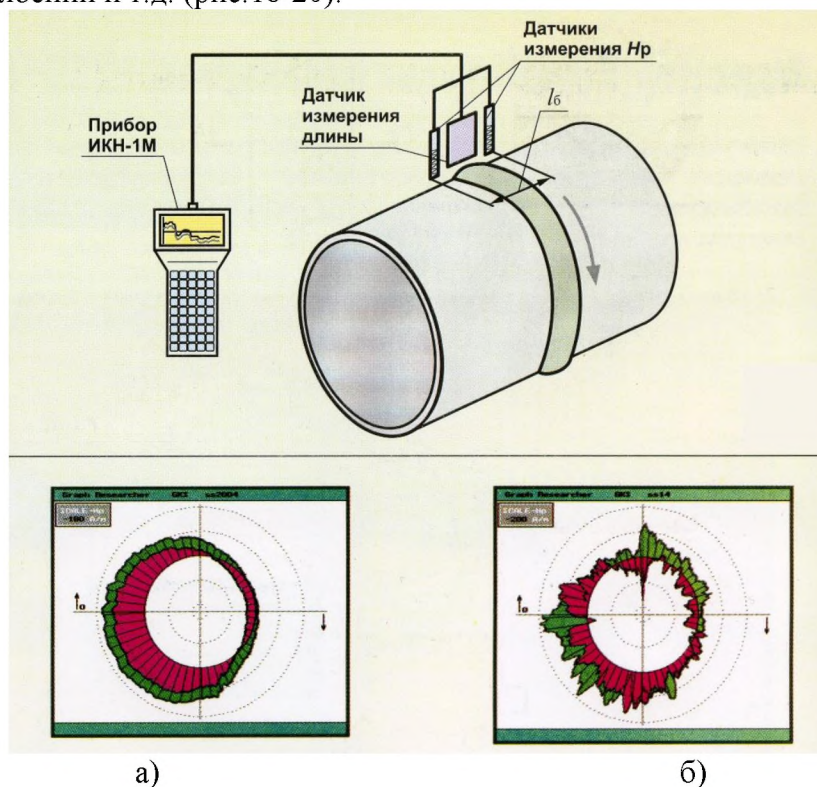


Рис. 18. Распределение поля остаточной намагниченности с двух сторон стыка сварного соединения: а) – с удовлетворительным состоянием сварного шва; б) неудовлетворительное состояние стыка с зонами концентрации напряжений

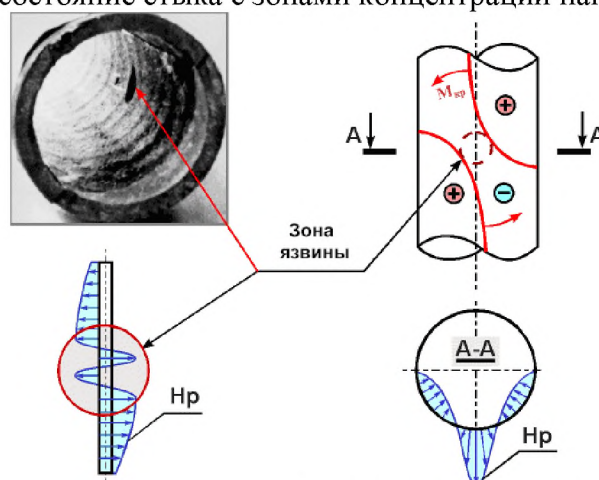


Рис. 19. Распределение напряжённости H_p магнитного поля вдоль трубы с дефектом (а) и в её поперечном сечении (б).

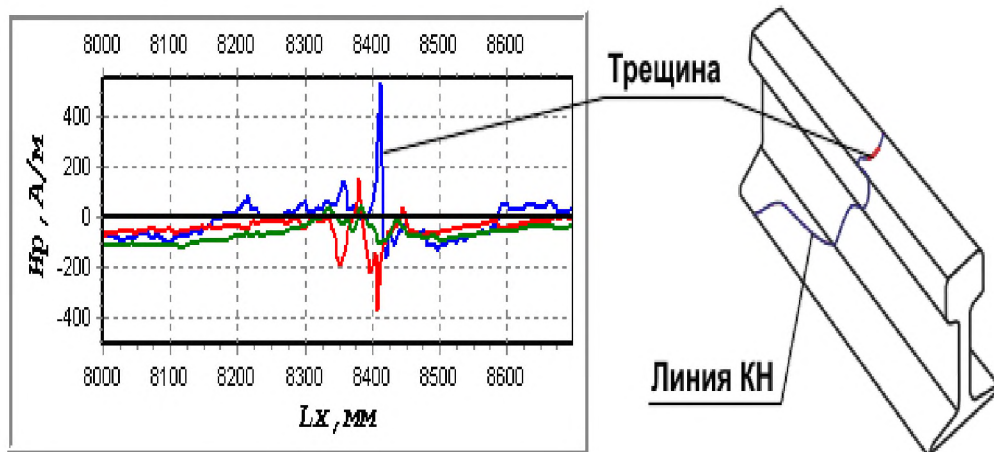


Рис. 20. Распределение напряжённости H_p магнитного поля вдоль рельса с дефектом.

Тепловые методы контроля

Контроль основан на анализе взаимодействия внешнего температурного поля с объектом контроля (активный метод) или на анализе температурного поля самого объекта (пассивный метод). По характеру взаимодействия теплового поля с объектом контроля различают тепловой *контактный, конвективный и метод собственного излучения*.

Физические основы пассивных и активных методов теплового контроля

Температура является мерой для описания энергетического состояния объектов. Закон Вина

$$u_\nu = \frac{8\pi h\nu^3}{c^3} e^{-h\nu/kT}$$

где u_ν — плотность энергии излучения, ν — частота излучения, T — температура излучающего тела, h — постоянная Планка, k — постоянная Больцмана, c — скорость света в вакууме

В процессе теплообмена энергия от более нагретого тела переходит к менее нагретому до установления теплового равновесия и выравнивания их температур. Это характеризует температуру как физическую величину, определяющую направление передачи тепловой энергии.

Плотность теплового потока Q в твердом теле между точками с различной температурой T_1 и T_2 подчиняется *закону Фурье*:

в интегральном выражении

$$Q = -\lambda(T_2 - T_1)/\Delta x;$$

в дифференциальном выражении

$$Q = -\lambda(dT/dx),$$

где λ — коэффициент теплопроводности.

Температура служит мерой внутренней энергии тел, т.е. кинетической и потенциальной энергии вращательного и колебательного движения атомов газа, жидкости или твердого тела и имеет статистический характер.

В тепловых методах неразрушающего контроля в качестве пробной энергии используется тепловая энергия, распространяющаяся в объекте контроля. Температурное поле поверхности объекта является источником информации об особенностях процесса

теплопередачи, которые зависят от наличия внутренних или наружных дефектов. Под дефектом при этом понимается наличие скрытых раковин, полостей, трещин, непроваров, инородных включений и т.д., всевозможных отклонений физических свойств объекта от нормы, наличие мест локального перегрева (охлаждение) и т.п.

Основной характеристикой температурного поля, являющейся индикатором дефектности, служит величина локального температурного перепада. Координаты места перепада, его рельеф или, иными словами, топология температурного поля и его величина в градусах являются функцией большого количества факторов внутренних и внешний. Внутренние факторы определяются теплофизическими свойствами контролируемого объекта и дефекта, а также их геометрическими параметрами. Эти же факторы определяют временные параметры процесса теплопередачи, в основном, процесса развития температурного перепада. Внешними факторами являются характеристики процесса теплообмена на поверхности объекта контроля (обычно, коэффициент конвективной теплоотдачи), мощность источника нагрева и скорость его перемещения вдоль объекта контроля.

Основным информационным параметром при тепловом методе контроля является локальная разность температур между дефектной T_A и бездефектной T_B областями объекта

$$\Delta T = T_A - T_B.$$

Знак перепада зависит от соотношения теплофизических свойств дефекта и изделия и исследуемой поверхности. При нагреве изделий, содержащих дефекты, плохо проводящие тепло (например, газовые включения), место дефекта характеризуется локальным повышением температуры, а обратная поверхность – локальным понижением температуры. В случае дефекта, проводящего тепло лучше основного изделия (металлические вкрапления), имеет место обратная картина.

Временной ход перепада характеризуется кривой с максимумом, с чем связана необходимость определения оптимального времени регистрации температурного перепада t_m . Момент наступления максимального перепада и глубина залегания дефекта обычно связаны линейной зависимостью, причем угол наклона соответствующей прямой зависит от теплофизических свойств изделия и дефекта. Чем более теплопроводно изделие, тем меньше t_m . В зависимости от типа материала и глубины залегания дефекта величина t_m колеблется от долей секунд до десятков секунд, для неметаллов она может составлять десятки минут. Увеличение мощности нагревателя и уменьшение интенсивности теплообмена приводит к росту уровня нагрева изделия и лучшему выявлению дефектов.

Бесконтактные методы теплового контроля основаны на использовании инфракрасного излучения, испускаемого всеми нагретыми телами. Инфракрасное излучение занимает широкий диапазон длин волн от 0,76 до 1000 мкм. Спектр, мощность и пространственные характеристики этого излучения зависят от температуры тела и его излучательной способности, обусловленной его материалом и микроструктурными характеристиками излучающей поверхности. Например, шероховатые поверхности излучают сильнее, чем зеркальные. При повышении температуры мощность излучения быстро растет, а ее максимум сдвигается в область более коротких длин волн. Спектр излучения может быть непрерывным или дискретным. Характер спектра зависит, в основном, от агрегатного состояния вещества. Для твердых и жидких тел характерны непрерывные спектры излучения, для газообразных – линейчатые.

Способы и устройства теплового нагружения, регистрации тепловых полей

Существуют следующие способы активации теплового контроля изделий:

1. Кратковременный локальный нагрев изделия с последующей регистрацией температуры той же (при одностороннем контроле) или противоположной области (двустороннем контроле). По истечении некоторого времени (чтобы изделие успело остыть) переходят к следующей точке и т.д. Так проходится вся поверхность изделия, причем измеренная

температура дефектных областей будет существенно отличаться от температуры бездефектных участков.

2. С использованием сканирующей системы, состоящей из жестко закрепленных друг относительно друга источника нагрева и регистрирующего прибора (например, радиометра), перемещающихся с постоянной скоростью вдоль поверхности образца.
3. Одновременный нагрев поверхности образца вдоль некоторой линии с последующей регистрацией температуры вдоль этой же линии (при одностороннем контроле) или вдоль аналогичной линии с противоположной поверхности образца (при двустороннем контроле).
4. Одновременный нагрев всей поверхности образца и последующая одновременная регистрация температурного распределения на этой же или на противоположной поверхности. Подобный способ контроля может быть осуществлен при помощи тепловизора.

Эффективность выявления дефектов каждым из описанных способов теплового контроля уменьшается от первого к последнему, а производительность – возрастает.

Для нагрева изделий применяют как стационарные, так и кратковременные (импульсные) источники. При кратковременном нагреве используют высокоинтенсивные источники тепла. Такой нагрев можно осуществлять: бомбардировкой электронным пучком в вакууме; плазменной струей; фокусировкой инфракрасного или видимого излучения; электромагнитным полем высокой частоты; лазерным лучом; горячими газами. Стационарный нагрев можно получить при прохождении электрического тока через изделие, горячими газами, при использовании специальных нагревателей и т.д.

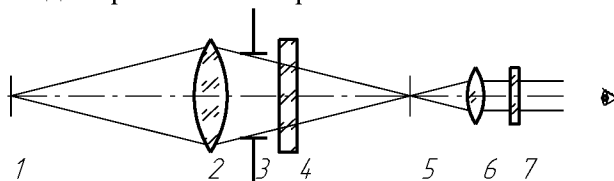
Для контроля сложных структур сотовых конструкций, сварных и паяных соединений используют нагрев плазменной струей, которая обеспечивает высокую концентрацию тепловой энергии до 500 кВт/см^2 и позволяет получать достаточно высокие температуры отдельных участков поверхности нагреваемого тела за малые интервалы времени. Массивные образцы нагревают обычно индуктором. Оптические источники дают возможность подачи световой энергии в труднодоступные полости с помощью световодов. Мощные источники типа «световых печей» могут нагревать металлы до температур плавления.

Преобразователи теплового излучения

Действие приборов для неконтактного измерения температуры основано на регистрации теплового излучения нагретых объектов. По характеру получения информации различают пирометры для локального измерения температуры в данной точке объекта и пирометры для анализа температурных полей (тепловизоры).

По принципу действия различают яркостные, цветные и радиационные пирометры.

Яркостные визуальные пирометры применяют для измерения яркостных температур выше $6000 \text{ }^\circ\text{C}$. Принцип их действия основан на зависимости спектральной яркости нагретых тел от температуры, описываемой законами Планка и Вина. Схема яркостного пирометра показана на рис.21. Объектив 2 проектирует объект 1 через диафрагму 3 и нейтральный фильтр 4 на плоскость 5. В этой плоскости находится нить специальной пирометрической лампы, которая рассматривается через красный фильтр 7 с помощью окуляра 6. Наблюдатель видит одновременно изображение лампы и объекта.



1 – объект; 2 – объектив; 3 – диафрагма; 4 – нейтральный фильтр; 5 – плоскость спирали пирометрической лампы; 6 – окуляр; 7 – красный светофильтр.

Рис. 21. Схема яркостного пирометра

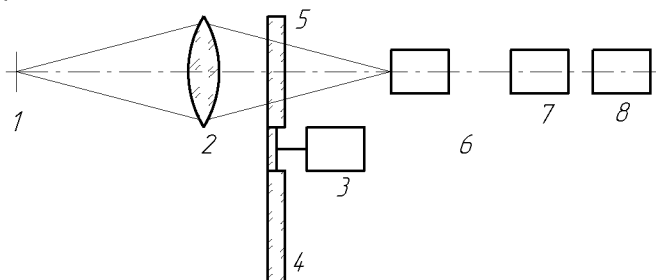
Потенциометром меняют яркость лампы до исчезновения её изображения на фоне объекта, затем определяют соответствующий этому моменту ток лампы и по градуировочной шкале прибора температуру объекта. Применяя красный фильтр 7, можно вести измерения в узком спектральном интервале. При высоких яркостях объекта вводят фильтр 4. Недостатком метода является субъективность измерения, преимуществом – простота и удобство в работе. Яркостные пирометры с электронно-оптическими преобразователями (ЭОП) и специально передающими телевизионными трубками (видиконами) чувствительны в ИК-области спектра и позволяют измерять более низкие температуры (200–600 °С). Принцип действия яркостного пирометра с ЭОП основан на преобразовании испускаемых объектом и эталонной лампой ИК-лучей в видимое излучение с помощью ЭОП или видикона. Яркости визуализированных изображений объекта и спирали пирометрической лампы уравнивают обычным способом.

Принцип действия фотоэлектрических яркостных пирометров основан на применении фотопреобразователей для измерения монохроматической яркости объекта или ее сравнения с яркостью эталона. Эти приборы позволяют автоматизировать и ускорить процесс измерения и исключить субъективные ошибки измерения. Нижний температурный предел пирометров определяется спектральной чувствительностью применяемых фотоприемников. Для наиболее распространенных детекторов он равен 100–200 °С.

Своеобразной модификацией яркостных пирометров являются фотографические пирометры, фиксирующие изображение объекта и эталона яркости на фотопленке и осуществляющие их фотометрическое сравнение визуальным методом. Преимущество этих приборов – возможность регистрации температурных полей объектов большого размера с высокой пространственной и временной разрешающей способностью.

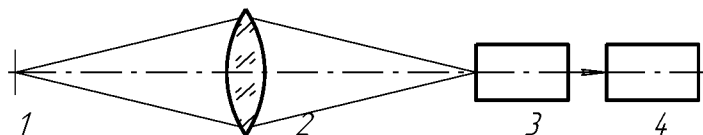
Действие цветowych пирометров основано на сравнении интенсивности излучения объекта в двух спектральных диапазонах. Оптическая схема цветowego пирометра обычно содержит два цветных фильтра, через которые с помощью модулятора поток излучения от объекта попеременно направляется на фотоприемник. Функциональная схема цветowego пирометра показана на рис. 22

Метод цветовой пирометрии может быть распространен на инфракрасную область спектра при соответствующем подборе приемника излучения и материалов проекционной оптики и светофильтров. Нижний предел температурного диапазона может быть расширен до 20–50 °С. Действие радиационных пирометров (Рис.23) основано на использовании закона Стефана-Больцмана, выражающего зависимость излучаемой телом энергии от его температуры. Приборы этого типа широко используют для измерения низких температур (20–100 °С). Приемниками излучения служат термодпары. Часто применяют термобатарей (последовательно соединенные термодпары). Для измерения температуры слабо нагретых тел применяют объективы из материалов, прозрачных в соответствующей спектральной области. Стекло используют для измерения температур от 900 °С. Кварц применяют для регистрации температур более 400 °С. Объективы из фтористого лития или фтористого бария позволяют фиксировать температуры в диапазоне 20–500 °С. Часто используют также зеркальную оптику.



1 – объект; 2 – объектив; 3 – модулятор; 4, 5 – селективные светофильтры; 6 – приемник излучения; 7 – электронная схема; 8 – регистратор.

Рис.22. Схема цветowego пирометра



1 – объект; 2 – объектив; 3 – приемник; 4 – индикатор.

Рис.23. Схема радиационного пирометра

Наиболее перспективным направлением теплового контроля является использование тепловизоров, которые измеряют температуру в диапазоне $-20 \dots 900^{\circ}\text{C}$ при чувствительности $0,08^{\circ}\text{C}$. Однако на сегодняшний момент тепловизоры ещё очень дороги (12-100 тыс.долларов США). Однако в связи с внедрением в строительстве новых СНиПов и ТСНов, оговаривающих обязательное тепловизионное обследование ограждающих конструкций вновь возводимых и капитально ремонтируемых зданий, эти обследования получают широкое распространение и экономически оправданы.

Радиационные методы контроля

Физические основы взаимодействия ионизирующих излучений с веществом. Рентгеновское, тормозное, гамма-излучение

Контроль основан на регистрации и анализе параметров ионизирующего излучения прошедшего через объект контроля. Слово "радиоактивность" ввела в обиход Мария Кюри. В 1898 году она и ее муж Пьер Кюри обнаружили, что уран после излучения таинственным образом превращается в другие химические элементы. Радиационные методы применяются для получения информации об элементном составе веществ, их габаритных размерах, в частности о толщине, а также о структуре, разнообразных внутренних дефектах и инородных включениях.

В зависимости от природы ионизирующего излучения радиационный вид получения информации подразделяют на подвиды: рентгеновский, гамма-, бета- и нейтронный. Испускание ядром частицы, состоящей из двух протонов и двух нейтронов, - это альфа-излучение. Испускание электрона - бета-излучение.

Часто нестабильный нуклид оказывается настолько возбужденным, что испускание частицы не приводит к полному снятию возбуждения, тогда он выбрасывает порцию чистой энергии, называемой гамма- излучением (гамма-квантом). Рентгеновское излучение – наиболее длинноволновая составляющая радиационного (ионизирующего) излучения – потока микрочастиц и физических полей, способных ионизировать вещество (рис.24). Рентгеновское излучение – это электромагнитное излучение, занимающее в спектре область между гамма- и ультрафиолетовым излучениями в пределах длин волн от 10^{-7} до 10^{-11} см.

Свойства радиационного излучения наглядно оценить на основе сравнения со свойствами других излучений, проявляющихся при ядерном распаде (рис.25). Альфа-излучение, которое представляет собой поток тяжелых частиц, состоящих из нейтронов и протонов, задерживается, например, листом бумаги и практически не способно проникнуть через наружный слой кожи, образованный отмершими клетками.

Бета-излучение обладает большой проникающей способностью: оно проходит в ткани организма на глубину один-два сантиметра. Проникающая способность гамма-излучения очень велика: его может задержать лишь толстая свинцовая или бетонная плита.

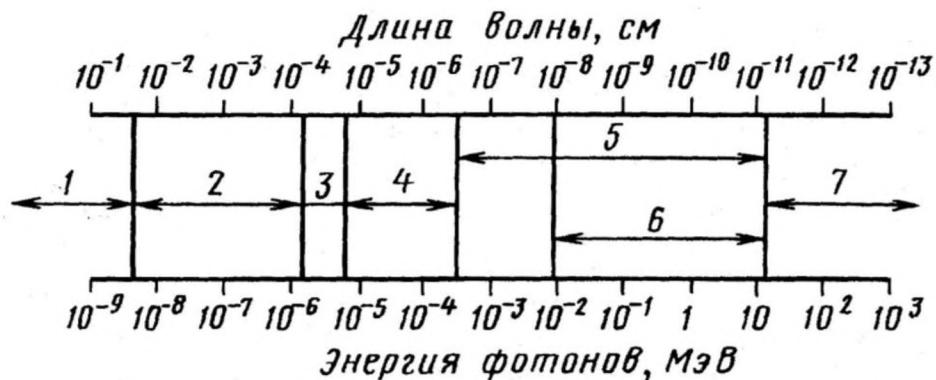


Рис. 24. Энергии фотонов и длины волн различных частей электромагнитного спектра: 1 – радиоволновое; 2 – инфракрасное; 3 – световое; 4 – ультрафиолетовое; 5 – рентгеновское; 6 – гамма; 7 – космическое.

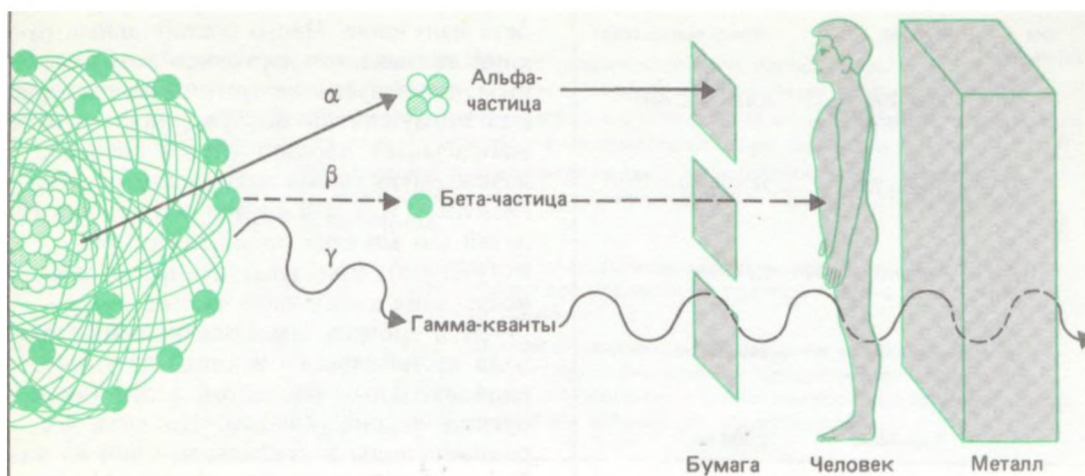


Рис. 25. Проникающая способность различных видов ионизирующего излучения.

Различают методы прошедшего, рассеянного, характеристического излучения и активационного анализа.

Физической основой рентгенографического метода контроля напряжённого состояния является установленная связь вида напряжённого состояния и пластических характеристик конструкционных сталей с типом кристаллографических ориентировок, плотностью дефектов в структуре, размером кристаллитов, экспериментально контролируемых параметрами текстурных кривых (текстурограмм), отслеживающих угол рассеяния рентгеновских лучей.

Радиографический, радиоскопический, радиометрический методы

В зависимости от способа регистрации и типа детектора различают два основных метода радиографии – прямой экспозиции и переноса изображения.

Метод прямой экспозиции является наиболее распространенным методом промышленной радиографии, при котором используются источники ионизирующего излучения практически всех видов. Просвечивание изделий производится на радиографическую пленку.

Метод переноса изображения применяют при нейтронной радиографии и ксерографиографии (электрорадиографии). В первом случае скрытое изображение получают на промежуточном металлическом активированном экране, размещенном за изделием в

нейтронном потоке. После этого скрытое изображение переносят на радиографическую пленку, прикладывая ее к металлическому экрану.

При электрорадиографии в качестве промежуточного носителя скрытого изображения используют электрически заряженные полупроводниковые пластины, помещаемые за объектом в пучке ионизирующего излучения, а в качестве регистратора видимого изображения применяют обычную бумагу, на которой изображения проявляются с помощью сухих красящих веществ.

Радиоскопический метод неразрушающего контроля основан на преобразовании радиационного изображения контролируемого объекта в световое изображение на выходном экране радиационно-оптического преобразователя, причем дефектоскопический анализ полученного изображения проводится в процессе контроля. Методы радиоскопии позволяют исследовать контролируемый объект непосредственно в момент его просвечивания. Поэтому сокращается время между началом контроля и моментом получения заключения о качестве контролируемого объекта. Благодаря малой инерционности радиоскопических систем объект можно контролировать под различными углами к направлению просвечивания. При этом повышается вероятность обнаружения дефектов и обеспечивается возможность контроля деталей и узлов как в эксплуатационных условиях, так и в условиях поточного производства.

При радиометрическом методе контроля детекторами излучения являются различного рода счетчики, ионизационные камеры, сцинтилляционные преобразователи. При осуществлении радиометрического контроля узкий пучок тормозного или γ -излучения последовательно просвечивает все участки контролируемого объекта. Излучение, прошедшее через контролируемый участок, регистрируется детектором, далее преобразуется в электрический сигнал, пропорциональный интенсивности излучения, падающего на детектор. Электрический сигнал через усилитель поступает на регистрирующее устройство. В качестве выходных регистрирующих устройств обычно применяют миллиамперметр, механический счетчик отдельных импульсов, осциллограф, самопишущий потенциометр и т.д. При наличии дефектов в материале (пустота) регистрирующее устройство отмечает возрастание интенсивности потока излучения. Источник излучения и детектор устанавливают с противоположных сторон (работа в прямом пучке) контролируемого объекта и одновременно передвигают параллельно поверхности просвечиваемого материала и все время на одинаковом расстоянии от нее. Иногда сканируют контролируемое изделие при неподвижном источнике излучения и детекторе.

Аппаратуру радиометрического контроля относят к приборам, использующим ионизирующие излучения для измерения физических характеристик просвечиваемых объектов. По характеру измеряемой величины их подразделяют на толщиномеры и дефектоскопы.

Рентгеновские аппараты, гамма-дефектоскопы, бетатроны, микротроны и линейные ускорители заряженных частиц

Наиболее распространённый источник рентгеновских лучей – рентгеновская трубка. В качестве источника могут служить также некоторые радиоактивные изотопы. Естественный источник рентгеновских лучей – Солнце и другие космические объекты.

Рентгеновские лучи возникают при бомбардировке быстрыми электронами твердых мишеней. Рентгеновская трубка представляет собой эвакуированный баллон с несколькими электродами. Нагреваемый током катод К (рис.26) служит источником свободных электронов, испускаемых вследствие термоэлектронной эмиссии. Цилиндрический электрод Ц предназначен для фокусировки электронного пучка. Мишенью является анод А. Ускорение электронов осуществляется высоким напряжением, создаваемым между анодом и катодом. В излучение превращается 1 ÷ 3 % энергии, а остальная – идет на выделение тепла.

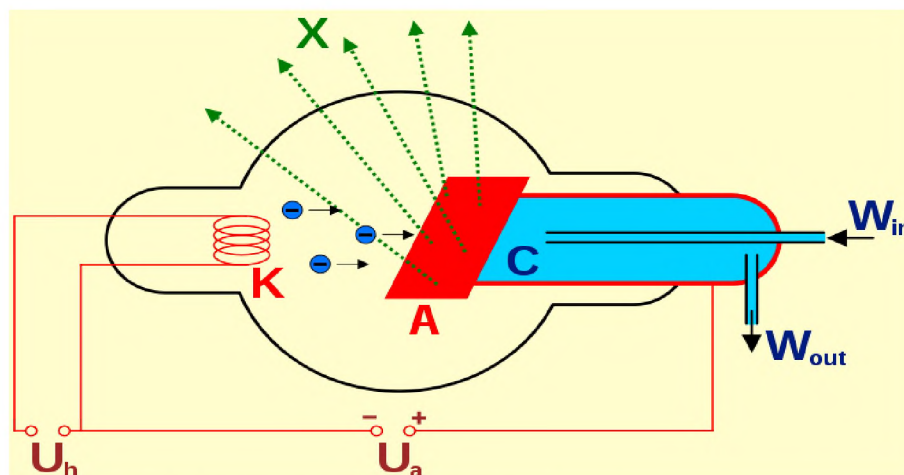


Рис. 26. Функциональная схема рентгеновской трубки.

Если между катодом и анодом приложено напряжение U , электроны разгоняются до энергии eU . Попав в вещество анода, электроны испытывают сильное торможение и становятся источником электромагнитных волн. Мощность излучения P пропорциональна квадрату заряда электрона и квадрату его ускорения:

$$P \sim e^2 w^2$$

В предположении о постоянстве ускорения электрона w в течение всего времени торможения τ , мощность излучения также будет постоянной, и за время торможения электрон излучит энергию

$$E = P \tau \sim e^2 w^2 \tau = e^2 v_0^2 / \tau,$$

где v_0 – начальная скорость электрона. Заметное излучение может наблюдаться лишь при резком торможении быстрых электронов. На рентгеновские трубки подается напряжение до 50 кВ. Пройдя такую разность потенциалов, электрон приобретает скорость $0,4c$. В бетатроне электроны могут быть ускорены до энергии 50 МэВ (скорость $0,99995 c$). Направив ускоренный в бетатроне пучок электронов на твердую мишень, получают рентгеновские лучи весьма малой длины волны. Чем меньше длина волны, тем меньше поглощаются лучи в веществе.

При достаточно большой скорости электронов, кроме *тормозного излучения* возбуждается также *характеристическое излучение* (вызванное возбуждением внутренних электронных оболочек атомов анода). При не слишком больших энергиях бомбардирующего анод электронов наблюдается лишь тормозное излучение, обладающее сплошным спектром и не зависящее от материала анода. Когда энергия бомбардирующих электронов становится достаточной для вырывания электронов из внутренних оболочек атома, на фоне тормозного излучения появляются резкие линии характеристического излучения. Частоты этих линий зависят от природы вещества, из которого изготовлен анод (по этой причине излучение и называется характеристическим). Подобно атомам, атомные ядра имеют дискретные уровни энергии, самый низкий из которых называется нормальным, остальные – возбужденными. Переходы между этими уровнями приводят к возникновению коротковолнового электромагнитного излучения, получившего название γ -лучей. Рентгеновская установка состоит из рентгеновского излучателя, источника высокого напряжения и контрольной аппаратуры (рис. 27).

В радиационной дефектоскопии применяют импульсные и высоковольтные рентгеновские трубки. Импульсные рентгеновские трубки предназначены для исследования быстропротекающих процессов. Длительность импульсов ~ 20 нс. В этих трубках за коротких промежутков времени создается ток $10^3 \div 10^5$ А. Импульсные трубки с холодным катодом работают по принципу вакуумного пробоя, который развивается под действием автоэмиссии электронов, получаемых из острых краев катода под действием сильного

электрического поля. Анод в таких трубках выполняется в виде вольфрамовой иглы, а катод – в виде кольца или диска. Трубки работают при разряде $10^{-5} \div 10^{-6}$ мм рт. Ст. Высоковольтные рентгеновские трубки из-за автоэлектронной эмиссии, электрических пробоев и т.д. не могут быть двухэлектродными. Эти трубки выполняют секционными, состоящими из катода, промежуточных электродов и полого анода. Полюс анода почти полностью улавливает отраженные электроны. Возможность высоковольтного вакуумного пробоя исключена благодаря большому расстоянию между анодом и катодом. Для дефектоскопии материалов и изделий широко используются рентгеновские аппараты с напряжением $10 \div 400$ кВ. Контроль легких материалов, пластмасс обеспечивается мягким излучением, а толстостенных стальных изделий и материалов – жестким излучением $300 \div 400$ кВ.

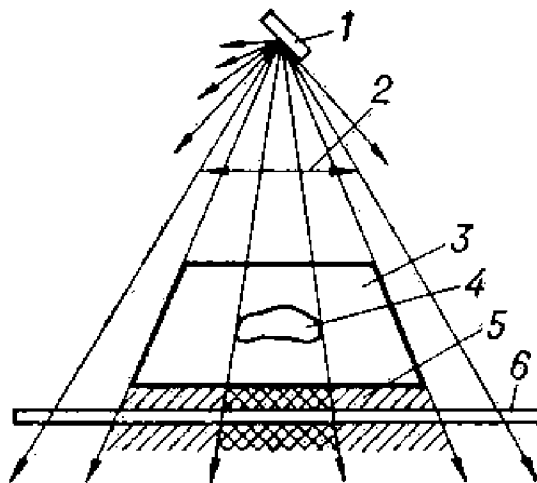


Рис. 27. Схема рентгеновского просвечивания: 1 — источник рентгеновского излучения; 2 — пучок рентгеновских лучей; 3 — деталь; 4 — внутренний дефект в детали; 5 — невидимое глазом рентгеновское изображение за деталью; 6 — регистратор рентгеновского изображения

При распаде искусственных или естественных радиоактивных изотопов возникает γ -излучение. Одновременно с γ -квантами могут образоваться α -частицы и β -частицы. γ -кванты обладают существенно большей проникающей способностью по сравнению с α - и β -частицами, поэтому их преимущественно и используют при контроле качества изделий. Радионуклиды являются активной частью источника излучения. Их помещают в герметизированные ампулы. Ампулы могут быть заваренными, завальцованными и на резьбе. Способ герметизации, материал и число ампул зависят от мощности экспозиционной дозы (МЭД) излучения, физического состояния и свойств нуклидов.

Радионуклиды, заключенные в герметичные металлические ампулы, помещают в защитные блоки дефектоскопов. Выпуск и перекрытие пучка излучения осуществляется с помощью дистанционных приводов управления.

Выпускаются гамма-дефектоскопы двух видов: универсальные шлангового типа, у которых источник излучения подается к месту просвечивания по шлангу-ампулопроводу, и для фронтального и панорамного просвечивания, у которых источник излучения не выходит за пределы радиационной головки. Дефектоскопы снабжены набором источников γ -излучения с различными размерами активной части и МЭД γ -излучения. Набор источников размещается в магазине-контейнере, что позволяет просвечивать изделия различной толщины на различных фокусных расстояниях.

Ввиду низкой энергии γ -квантов рентгеновских источников излучения и радиоактивных источников предел толщин просвечиваемых деталей ограничен, так как при их использовании нерационально возрастает время просвечивания. Для дефектоскопии изде-

лий большой толщины и сложной формы применяют источники тормозного излучения с энергией до нескольких десятков МэВ. Такими источниками излучения являются электростатические генераторы, ускорители прямого действия, бетатроны, линейные ускорители, микротроны

Бетатрон – циклический ускоритель электронов. Действие его основано на законе электромагнитной индукции, согласно которому вокруг изменяющегося во времени магнитного потока образуется вихревое электрическое поле, напряженность которого определяется скоростью изменения магнитного потока.

Электроны в бетатроне ускоряются по замкнутой орбите постоянного радиуса под действием силы электрического поля. Совершив полный оборот, они приобретают энергию, равную произведению напряженности электрического поля на заряд электрона и длину траектории. Энергия электрона увеличивается до тех пор, пока электрическое вихревое поле не изменит своего направления.

Для сохранения постоянства радиуса орбиты, по которой движутся электроны в процессе ускорения, необходимо, чтобы скорость электрона увеличивалась пропорционально увеличению напряженности магнитного поля. Это выполняется, если напряженность магнитного поля на орбите в любой момент времени меньше средней напряженности магнитного поля внутри орбиты. Поле в области движения электронов делают спадающим по радиусу, что обеспечивает вертикальную фокусировку электронов.

Применяя в качестве источника проникающего излучения бетатроны, можно контролировать качество стальных изделий толщиной до 600 мм с использованием методов и средств промышленной радиографии и радиометрической дефектоскопии.

Принцип действия линейного ускорителя электронов основан на том, что электроны, введенные с некоторой начальной скоростью вдоль оси цилиндрического волновода, в котором возбуждается бегущая электромагнитная волна с предельной компонентой электрического поля, попадая в ускоряющую полуволну, ускоряются под действием электрического поля. Для непрерывного увеличения энергии электронов необходимо, чтобы электромагнитная волна двигалась вдоль волновода с такой скоростью, при которой электрон не выходит за пределы ускоряющей полуволны. Для получения необходимой для ускорения электронов скорости электромагнитной волны внутри волновода устанавливаются диафрагмы. Таким образом, диафрагмированный волновод является основным узлом линейного ускорителя. Преимущество линейных ускорителей состоит в большой интенсивности тормозного излучения. Данным способом осуществляется контроль стальных изделий толщиной 400 – 500 мм. Ускорители представляют собой компактные установки, состоящие из излучателя и блоков электропитания, теплообменников и управления. Излучатель снабжен рентгеновской головкой, позволяющей получить равномерное по интенсивности поле тормозного излучения.

Микротрон – циклический ускоритель с переменной кратностью ускорения. В микротроне частицы движутся в постоянном и однородном магнитном поле. Ускорения происходит под действием переменного электрического поля постоянной частоты. Электроны, находящиеся в вакуумной камере, движутся под действием переменного электрического поля постоянной частоты. Электроны, находящиеся в вакуумной камере, движутся по орбитам – окружностям, имеющим общую точку касания. В этом месте расположен резонатор, сверхвысокочастотное поле которого ускоряет электроны. Резонатор возбуждается импульсным магнетроном.

При прохождении через резонатор электроны приобретают определенную энергию ΔE и начинают двигаться по следующей орбите. При достижении последней орбиты электроны либо попадают на мишень, либо через канал выводятся из камеры.

Радиоскопические и радиометрические системы

Применяемые при радиоскопии современные радиационные интроскопы позволяют получать информацию о внутреннем строении материалов и объектов и отображают ее на выходном экране радиационно-оптического преобразователя в виде светотеневых картин.

Преобразователем радиационного изображения называют устройство для преобразования изображения, сформированного ионизирующим излучением в результате его взаимодействия с контролируемым объектом, в изображение другого вида. Наибольшее распространение получили радиационно-оптические преобразователи – устройства для преобразования радиационного изображения в световое изображение. Радиационно-оптические преобразователи, в которых за счет дополнительных источников энергии, не связанных с ионизирующим излучением, в процессе облучения происходит радиационно-оптическое преобразование с коэффициентом усиления яркости более единицы, называются усилителями радиационного изображения.

Все радиометрические дефектоскопы и толщиномеры являются приборами, в которых поток излучения изменяется под действием измеряемой величины, а затем попадает в детектор излучения и представляет собой совокупность определенным образом связанных элементов.

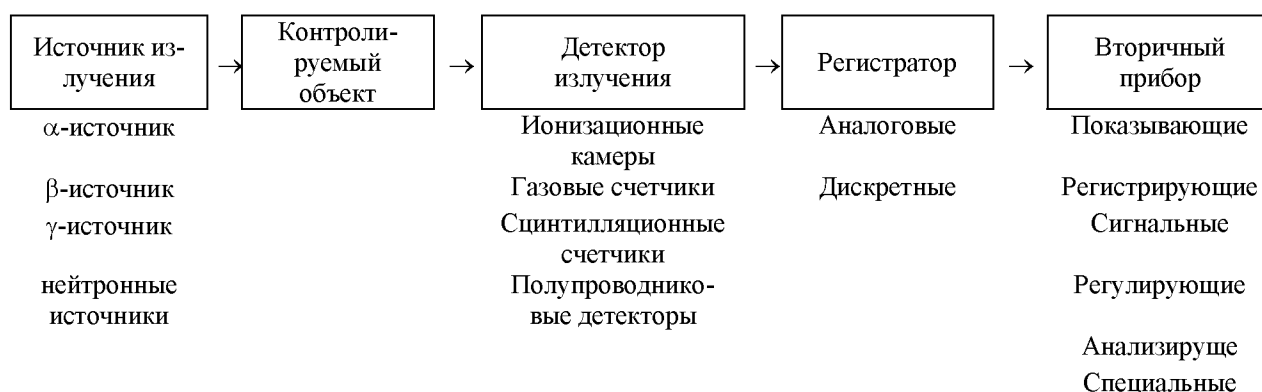


Рис. 28. Схема работы радиометрического прибора

Основными элементами любого радиометрического прибора являются источник излучения, приемник (детектор) излучения, регистратор (электронная схема), который преобразует или усиливает сигнал детектора, и вторичный прибор.

В зависимости от вида сигналов, снимаемых с детекторов, регистраторы разделяют на аналоговые и дискретные. При токовом режиме используется некоторый усредненный непрерывный сигнал, появляющийся на выходе детектора от попадания в него большого количества ядерных частиц или фотонов. При импульсном режиме используют отдельные разделенные во времени сигналы, появляющиеся на выходе детектора после каждого попадания в него отдельной ядерной частицы или фотона. Поэтому дискретный регистратор обычно состоит из пересчетного устройства, обеспечивающего счет импульсов за определенный промежуток времени.

С регистратора электрический сигнал поступает на вторичный прибор (измерительный, самопишущий, регистрирующий), показания которого пропорциональны интенсивности излучения, попадающего в детектор.

Контроль толщины, плотности, других физических параметров материалов и изделий

Для бесконтактного автоматического измерения толщины в листопрокатном производстве применяют радиоактивные изотопные и рентгеновские толщиномеры, основанные на измерении ослабления интенсивности ионизирующего излучения при прохождении его через металл.

Рентгеновское излучение применяется в мировой практике для измерения толщины проката от $\sim 0,2$ до $15 \div 20$ мм (по стали), редко, с худшим быстродействием до ~ 35 мм. Этот диапазон толщин перекрывается тремя-четырьмя моделями установок с трубками и высоковольтными устройствами разных типов. Большая интенсивность потока даже в узких пучках в сочетании с оптимальным его значением позволяет проводить измерения с погрешностью менее 1 % при высоком быстродействии. Благодаря значительной интенсивности рентгеновской трубки можно увеличить рабочий зазор, что облегчает эксплуатацию аппаратуры на стане.

В случае применения радиоактивных изотопов эффективная энергия излучения обеспечивается выбором нужного изотопа. Радиоизотопные приборы широко для измерения толщины стальной полосы в диапазоне от нескольких микрон до 0,8 мм (β -излучение) и для измерения толщины в процессе горячей прокатки от 4 – 5 до 70 мм (γ -излучение). По быстродействию они уступают рентгеновским приборам. Радиоизотопные толщиномеры, как правило, проще в эксплуатации и дешевле, чем рентгеновские, имеют меньшие габариты.

Детально контролировать геометрическую структуру и характер объемного распределения плотности и элементного состава материалов позволяет промышленная рентгеновская вычислительная томография (ПРВТ). Суть метода ПРВТ состоит в реконструкции пространственного распределения линейного коэффициента ослабления (ЛКО) рентгеновского излучения по объему контролируемого объекта в результате вычислительной обработки теневых проекций, полученных при рентгеновском просвечивании объекта в различных направлениях. Обнаружение и детальное изучение дефектов в объеме осуществляет оператор путем визуального анализа изображений отдельных плоских сечений (томограмм) реконструированной пространственной структуры ЛКО.

Рынок рентгеновских аппаратов и приспособлений для дефектоскопии достаточно широк и все приборы в кратком анализе перечислить невозможно.

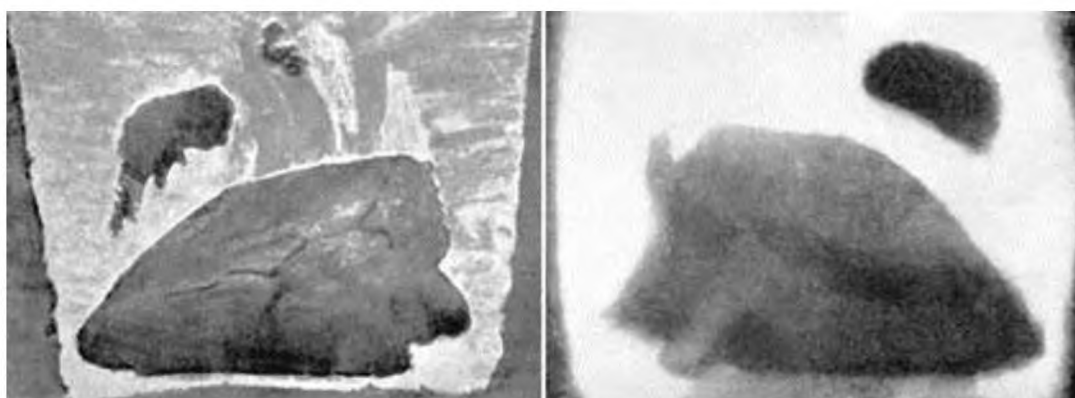


Рис. 29 Снимок в гамма-излучении (слева) и фотография разреза прибыли (справа) слитка массой около 500 кг; видна усадочная раковина.

Электрические методы контроля

Физические основы и область применения методов. Электростатический, емкостной, трибоэлектрический, термоэлектрический методы, метод экзотермической эмиссии

Электрические методы основаны на создании в контролируемом объекте электрического поля непосредственным воздействием на него электрическим возмущением (электростатического поля, поля постоянного или переменного стационарного тока), либо косвенно с помощью воздействия неэлектрическими возмущениями (тепловым, механическим и др.). Первичными информативными параметрами являются электрические характеристики объекта контроля.

Электростатический метод основан на регистрации распределения потенциалов по поверхности ОК. Применяется для контроля ОК из практически любых электропроводящих материалов: чёрных и цветных металлов, графитов и т.д. Работа электростатических приборов основана на прямом пропускании тока через контролируемый участок и измерении разности потенциалов на определенном участке или регистрации искажения электромагнитного поля, обусловленного обтеканием дефекта током (рис.30).

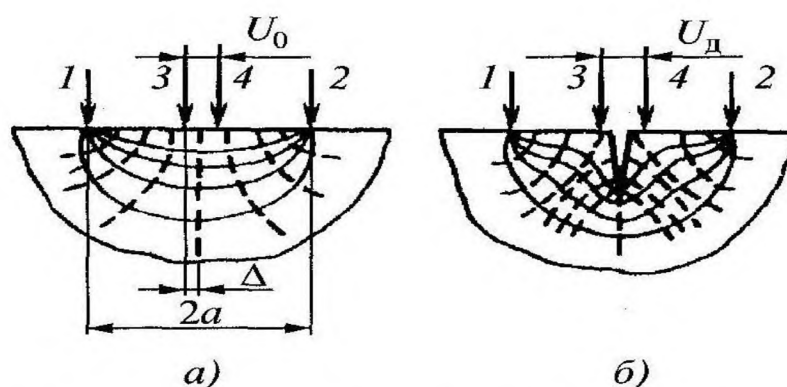


Рис. 30. Схема распределения изолиний плотности тока в электропроводящем объекте при отсутствии «а», и при наличии «б» поверхностного дефекта типа трещины

При пропускании через электропроводящий объект электрического тока в объекте создается электрическое поле. Геометрическое место точек с одинаковым потенциалом составляет эквипотенциальные линии. Разность потенциалов зависит от трех факторов: удельной электрической проводимости σ , геометрических размеров (толщины) и наличия поверхностных трещин. При пропускании переменного тока разность потенциалов будет зависеть и от магнитной проницаемости μ . Электростатические приборы применяют для измерения толщины стенок деталей, для изучения анизотропии электрических и магнитных свойств, обусловленной приложенными к объекту контроля механическими напряжениями. Основное назначение – измерение глубины трещин, обнаруженных другими методами неразрушающего контроля.

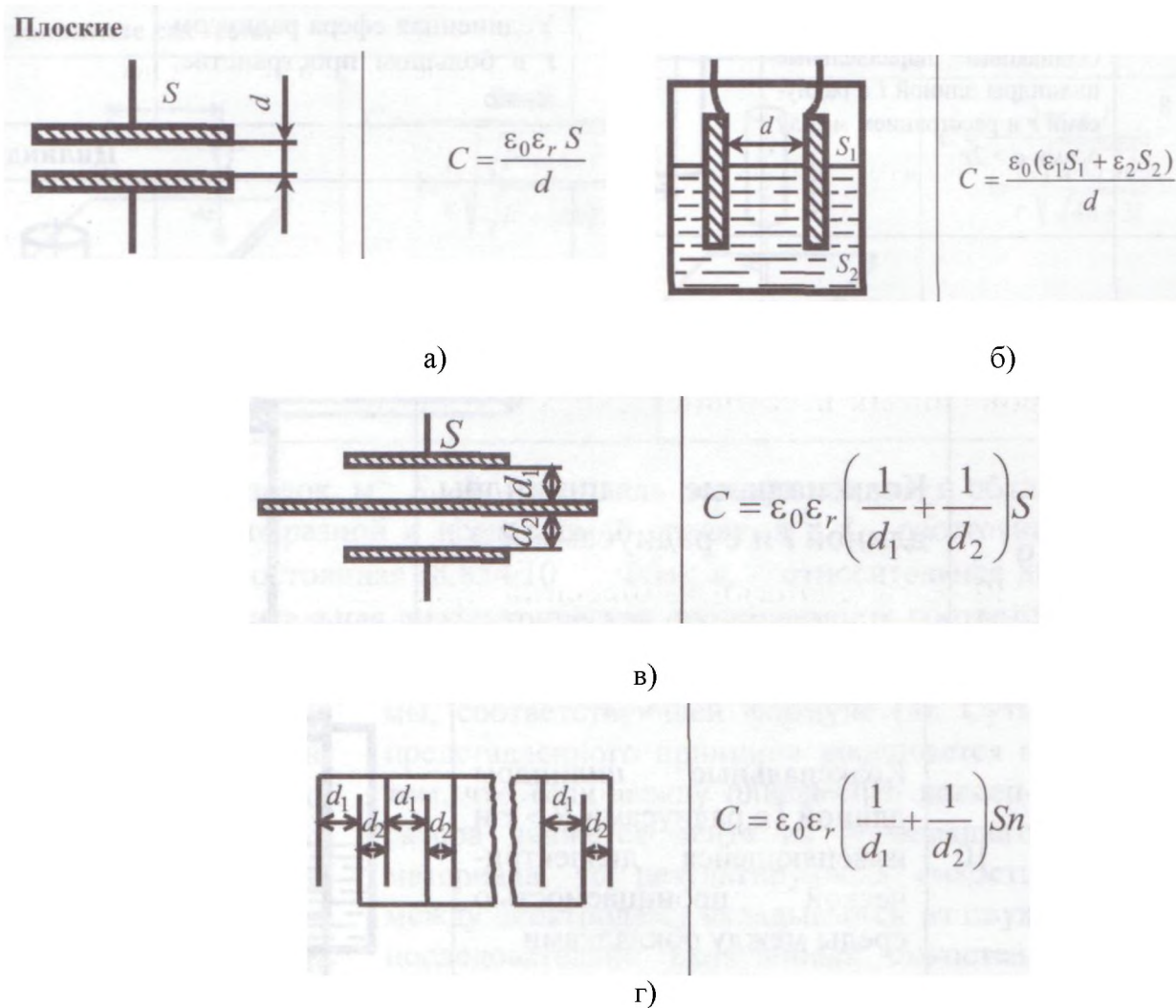
Емкостной метод контроля (ЭМК) предусматривает введение объекта контроля или его исследуемого участка в электростатическое поле и определение искомых характеристик материала по вызванной им обратной реакции на источник этого поля. В качестве источника поля применяют электрический конденсатор, который является одновременно и первичным емкостным преобразователем (ЭП), так как осуществляет преобразование физических и геометрических характеристик объекта контроля в электрический параметр. Обратная реакция ЭП проявляется как изменение его интегральных параметров, чаще всего двух параметров, из которых один характеризует «емкостные» свойства ЭП, а другой – диэлектрические потери (например, емкость и тангенс угла по-

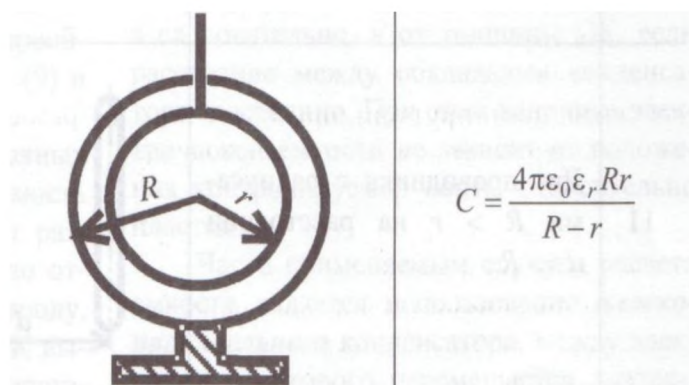
терь – составляющие комплексной проводимости). Эти параметры являются первичными информативными параметрами ЭМК. Схемы преобразователей и связь их параметров показана на рис. 31

Косвенным путем с помощью ЭМК можно определять следующие характеристики материала: плотность, содержание компонентов в гетерогенных системах, влажность, степень полимеризации и старения, механические параметры, радиопрозрачность и пр. К наиболее информативным геометрическим параметрам объекта контроля относятся толщина пластины, оболочек и диэлектрических покрытий на проводящем и непроводящем основаниях, поперечные размеры линейно-протяженных проводящих и диэлектрических изделий (нитей, стержней, лент, прутков), локализацию проводящих и диэлектрических включений и др. В отдельную группу выделяются влагомеры – приборы для измерения влажности.

Приборы, основанные на регистрации искажения электромагнитного поля.

Работа данных приборов основана на регистрации искажения силовых линий вектора плотности тока, обусловленного дефектом. Приборами регистрируется поперечная составляющая вектора плотности тока, которая в бездефектном участке изделия отсутствует. Метод применяется для дефектоскопии как электропроводящих немагнитных, так и магнитных материалов.





д)

Рис. 31. Схемы электроемкостных преобразователей.

- а) Параллельные пластины с активной площадью обкладок S на расстоянии d ;
 б) Параллельные пластины с активной площадью обкладок $S1$ - вне жидкости и $S2$ - в жидкости на расстоянии d и разной диэлектрической проницаемостью сред между обкладками;
 в) Плоскость пластин площадью S удалена от параллельных плоскостей с обеих сторон на $d1$ и $d2$;
 г) Сложный плоскопараллельный конденсатор с площадью пластин S и с n зазорами, заполненными диэлектриком;
 д) Две концентрические сферы с радиусами $R > r$

Источником информации о физическом состоянии материала при **термоэлектрическом методе** неразрушающего контроля является термо-ЭДС, возникающая в цепи, состоящей из пары электродов (горячего и холодного) и контролируемого металла. Метод основан на использовании явления изменения температуры твёрдого тела в зависимости от приложенного усилия. Основным ограничением применения метода является необходимость реализации условия адиабатичности протекания процесса деформирования. Явление изменения температуры твёрдого тела при изменении его объёма было замечено Томсоном и в дальнейшем экспериментально подтверждено Джоулем и др. При упругом деформировании тела его температура понижается, при появлении пластических деформаций температура резко повышается.

Связь между изменениями температуры ΔT и характеристиками деформированного и напряжённого состояния в упругой области деформирования имеет вид

$$\Delta T = -3\alpha T \sigma_{\text{ср}} / (c_p \gamma)$$

$$\Delta T = -3\alpha T E \epsilon_{\text{ср}} / [(c_p \gamma)(1 - 2\mu - E 3\alpha^2 T / (c_p \gamma))],$$

где α - температурный коэффициент линейного расширения, T - температура, C_p - удельная теплоёмкость, γ - плотность материала, μ - коэффициент Пуассона, E - модуль упругости, $\sigma_{\text{ср}}$, $\epsilon_{\text{ср}}$ - средние напряжения и деформация. Таким образом, изменение температуры пропорционально среднему напряжению или деформации. Основой метода является измерение изменения температуры с помощью микротермопар, обеспечивающих надёжный точечный тепловой контакт с поверхностью образца.

Приборы неразрушающего контроля, основанные на термоэлектрическом методе, находят применение при сортировке деталей по маркам сталей, для экспресс-анализа стали и чугуна непосредственно в ходе плавки и в слитках, определения толщин гальванических покрытий, измерения глубины закаленного слоя, исследования процессов усталости металла.

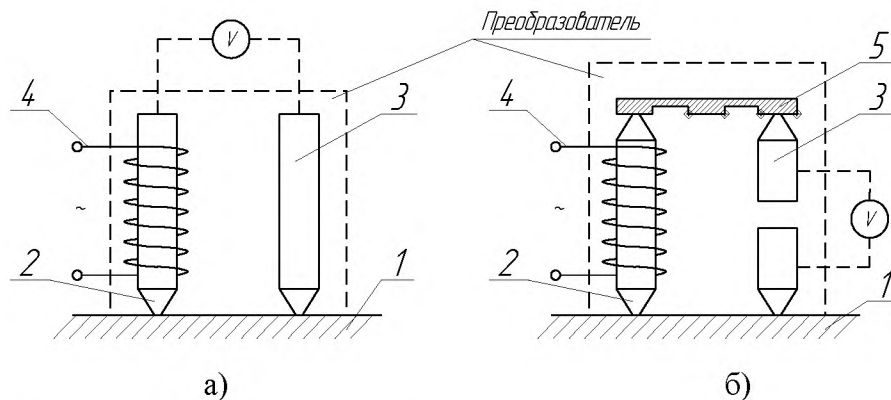


Рис. 32. Схемы контроля путем прямого преобразования (а) и дифференциальным методом (б)

При работе прибора по схеме прямого преобразования контролируемый образец 1 (рис. 32, а) помещают на площадку холодного электрода 3. К контролируемой поверхности прикасаются горячим электродом 2, нагреваемым элементом 4. В месте контакта горячего электрода возникает термо-ЭДС, и ток начинает протекать в цепи, в которую включен индикаторный прибор V.

При работе по дифференциальной схеме к холодным электродам, на которых размещены образец 5 из известной марки стали и контролируемая деталь 1, подключен индикаторный прибор V. К этим деталям одновременно прикасаются горячим электродом – щупом 2, и наблюдая за показаниями индикаторного прибора V, судят о принадлежности контролируемой детали к марке стали образца. Метод использовался для обнаружения зон локальных пластических деформаций и появления начальных трещин при усталостных испытаниях тракторных карданных и коленчатых валов.

Метод электрического сопротивления (электрорезистивный) основан на контроле технического состояния ОК путем измерения значения его активного электрического сопротивления R или электрической проводимости (электропроводности) g . Работу приборов рассмотрим на простейшем примере одинарного моста постоянного тока.

Одинарные мосты постоянного тока предназначены для измерения сопротивлений величиной от 10 Ом и более. Схема одинарного моста приведена на рисунке 33.:

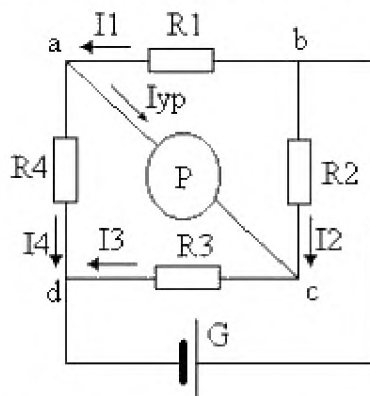


Рис. 33. Электрическая схема одинарного моста постоянного тока

Диагональ, обозначенная на рисунке bd- называется диагональю питания. В нее включен источник питания (батарея) G. Диагональ ac называется измерительной диагональю. В нее включен указатель равновесия (гальванометр) P.

Выведем условия равновесия моста.

В равновесном режиме $I_{up}=0$. Это условие выполняется когда:

$$I_1 R_1 = I_2 R_2;$$

$$I_3 R_3 = I_4 R_4.$$

Из первого закона Кирхгофа, с учетом того, что $U_{ac} = 0$ и $I_{np} = 0$ следует:

$I_4 = I_1$ и $I_3 = I_2$. Принимая во внимание все вышесказанное можно записать:

$$\frac{I_1 R_1}{I_1 R_4} = \frac{I_2 R_2}{I_2 R_3} \quad \text{или} \quad \frac{R_1}{R_4} = \frac{R_2}{R_3}.$$

Выражение $R_1 R_3 = R_2 R_4$ является условием равновесия моста.

Чувствительность моста по току и по напряжению определяются как:

$$S_I = \frac{\frac{\Delta I_{np}}{\Delta R}}{R} \quad S_U = \frac{\frac{\Delta U_{np}}{\Delta R}}{R}$$

- чувствительность моста по току.

- чувствительность моста по напряжению.

ΔI_{np} и ΔU_{np} - изменение силы тока и напряжения в измерительной диагонали.

$\Delta R/R$ - отношение изменения сопротивления плеча моста к полному сопротивлению этого плеча.

В частном случае, при $R_1 = R_2 = R_3 = R_4$, чувствительность моста может быть записана как:

$$S_I = \frac{E}{4R_{10}(1+k)} \quad \text{и} \quad S_U = \frac{I_0}{1+m}$$

R_{10} - сопротивление R_1 при равновесии.

$$k = \frac{nR_{np}(1+m)}{R_{10}(1+n)}, \quad m = \frac{R_{10}}{R_2}, \quad n = \frac{R_{10}}{R_4}.$$

R_{np} - сопротивление указателя равновесия.

В качестве практического примера приведены параметры моста Р-369.

Диапазон измеряемых сопротивлений: $10^{-4} \dots 1.11111 \cdot 10^{10}$ Ом.

Класс точности в диапазоне до 10^{-3} Ом - 1 и при измерении сопротивлений от 1 до 10^3 Ом класс точности - 0.005.

Электроконтактные методы основаны на анализе параметров импульсов проводимости объекта при микроконтактировании. В качестве диагностических параметров используют предельные и средние значения частоты и длительности микроконтактирования за определенное время. Наиболее универсальным и информативным параметром этой группы является нормированное интегральное время (НИВ) электрического контактирования (K). Значение этого параметра определяется отношением суммарной длительности соответствующих микроконтактированию импульсов проводимости объекта за время измерения к значению T_n :

$$K = \sum_1^{n_t} (t_{ni} - t_{nf}) / T_n.$$

Изменяясь от 0 до 1 параметр НИВ (K) является статистической оценкой вероятности микроконтактирования в объекте (P_k).

Электроконтактные методы традиционно используются в трибологии для выявления и анализа металлического контактирования деталей трибосопряжений, количественной оценки полужидкостной смазки и т.п., при этом наибольшее развитие эти методы получили в направлении диагностирования подшипников и опор качения.

Контроль проникающими веществами. Капиллярные методы контроля

Капиллярный контроль предназначен для обнаружения невидимых или слабовидимых невооруженным глазом поверхностных и сквозных дефектов в объектах контроля, определения их расположения, размеров и ориентации. Капиллярные методы контроля основаны на капиллярном проникновении индикаторных жидкостей (пенетрантов) в полости поверхностных и сквозных несплошностей материала объектов контроля и регистрации образующихся индикаторных следов визуальным способом или с помощью преобразователя. Поверхностной несплошностью называется капилляр, выходящий на поверхность объекта контроля только с одной стороны. Сквозной несплошностью называется капилляр, соединяющий две стенки объекта контроля. Если поверхностная и сквозная несплошности являются дефектами, то применяют термины «поверхностный дефект» и «сквозной дефект».

Процесс капиллярного контроля состоит из следующих основных операций (рис. 34):

а) очистка поверхности / ОК и полости дефекта 2 от загрязнений, жира и т. д. путем их механического удаления и растворения. Этим обеспечивается хорошая смачиваемость всей поверхности ОК индикаторной жидкостью и возможность проникновения ее в полость дефекта;

б) пропитка дефектов индикаторной жидкостью 3. Для этого она должна хорошо смачивать материал изделия и проникать в дефекты в результате действия¹ капиллярных сил. По этому признаку метод называют капиллярным, а индикаторную жидкость — *индикаторным пенетрантом* или просто *пенетрантом* (от лат. *penet*-го — проникаю, достаю);

в) удаление с поверхности изделия излишков пенетранта, при этом пенетрант в полости дефектов сохраняется. Для удаления используют эффекты диспергирования и эмульгирования, применяют специальные жидкости — *очистители*;

г) обнаружение пенетранта в полости дефектов. Как отмечено выше, это делают чаще визуально, реже — с помощью специальных устройств — *преобразователей*. В первом случае на поверхности наносят специальные вещества — *проявители* 4, извлекающие пенетрант из полости дефектов за счет явления сорбции или диффузии. Сорбционный проявитель имеет вид порошка или суспензии.

Пенетрант пропитывает весь слой проявителя (обычно довольно тонкий) и образует следы (*индикации*) 5 на его наружной поверхности. Эти индикации обнаруживают визуально. Различают *яркостный* или *ахроматический метод*, в котором индикации имеют более темный тон по сравнению с белым проявителем; *цветной метод*, когда пенетрант обладает ярким оранжевым или красным цветом, и *люминесцентный метод*, когда пенетрант светится под действием ультрафиолетового облучения. Заключительная операция при КМК — очистка ОК от проявителя

Капиллярные методы контроля подразделяются на основные и комбинированные.



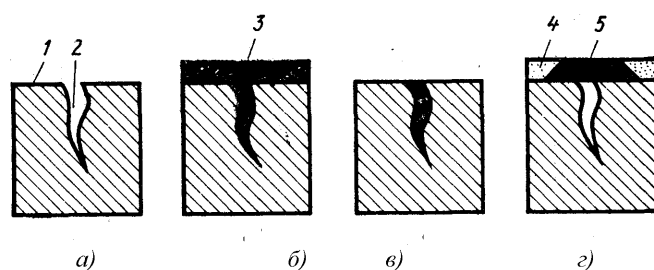


Рис. 34. Операции при капиллярном контроле

Основные капиллярные методы контроля в зависимости от типа проникающего вещества подразделяются на следующие:

- метод проникающих растворов – жидкостной метод основанный на использовании в качестве проникающего вещества жидкого индикаторного раствора;
- метод фильтрующихся суспензий – жидкостной метод основанный на использовании в качестве проникающего вещества индикаторной суспензии, которая образует индикаторный рисунок из отфильтрованных частиц дисперсионной фазы.

Комбинированные методы капиллярного контроля сочетают два и более различных по физической сущности методов контроля, один из которых обязательно жидкостный.

При капиллярном контроле используют специальные дефектоскопические материалы, которые предназначены для пропитки, нейтрализации или удаления избытка проникающего вещества с поверхности и проявления его остатков с целью получения первичной информации о наличии несплошности в объекте контроля.

Дефектоскопические материалы выбирают в зависимости от требований, предъявляемых к объекту контроля. Их укомплектовывают в целевые наборы, в которые входят следующие дефектоскопические материалы:

- индикаторный пенетрант И – капиллярный дефектоскопический материал, обладающий способностью проникать в несплошности объекта контроля и индицировать их;
- очиститель от пенетранта М - капиллярный дефектоскопический материал, предназначенный для удаления индикаторного пенетранта с поверхности объекта контроля самостоятельно или в сочетании с органическим растворителем или водой;
- гаситель пенетранта Г - капиллярный дефектоскопический материал, предназначенный для гашения люминесценции или цвета остатков индикаторного пенетранта на поверхности объекта контроля;
- проявитель пенетранта П - капиллярный дефектоскопический материал, предназначенный для извлечения индикаторного пенетранта из капиллярной полости несплошности с целью образования четкого индикаторного рисунка и создания контрастирующего с ним фона.

Дефектоскопические наборы подразделяются на высокочувствительные, средней чувствительности и пониженной чувствительности. Высокочувствительные наборы позволяют обнаруживать поверхностные дефекты типа трещин и пор величиной более 0,1 мкм., средней чувствительности – более 1 мкм., пониженной чувствительности – более 100 мкм.

Существуют следующие основные методы выявления индикаторного рисунка:

- люминесцентный, основанный на регистрации контраста люминесцирующего в длинноволновом ультрафиолетовом излучении видимого индикаторного рисунка на фоне поверхности объекта;
- цветной, основанный на регистрации контраста цветного в видимом излучении индикаторного рисунка на фоне поверхности объекта контроля;

- люминесцентно цветной, основанный на регистрации контраста цветного или люминесцирующего индикаторного рисунка на фоне поверхности объекта контроля в видимом или длинноволновом ультрафиолетовом излучении;
- яркостный, основанный на регистрации контраста в видимом излучении ахроматического рисунка на фоне поверхности объекта контроля.

Применяются следующие способы обнаружения индикаторного следа:

- визуальное обнаружение, в том числе с применением оптических (дефектоскопы) или фотографических средств;
- фотоэлектрическое обнаружение и преобразование с применением различных средств косвенной индикации и регистрации;
- телевизионное обнаружение, преобразование в аналоговую или дискретную форму с соответствующим представлением на экран, дисплей, магнитную пленку;
- инструментальное обнаружение косвенными приемами сигнала от невидимого глазом индикаторного следа.

В комбинированных методах капиллярного контроля применяются следующие методы выявления индикаторного рисунка:

- капиллярно-электростатический, основанный на обнаружении индикаторного рисунка, образованного скоплением электрически заряженных частиц у поверхностной или сквозной несплошности неэлектропроводящего объекта, заполненного ионогенным пенетрантом;

Методы течеискания

Методы течеискания предназначены для контроля качества герметизации разнородных систем и изделий. В общем случае нарушением герметичности является наличие в оболочке сквозных капиллярных каналов (течей) или проницаемость основного материала с ненарушенной структурой.

При наличии течей обнаруживается прямая связь между составами газовой среды по обе стороны оболочки, а при подаче жидкости на одну поверхность оболочки выявляется ее присутствие на противоположной поверхности. Это позволяет базировать методы течеискания на применении различных пробных веществ (гелий, водород, вода, спирт ацетон и т. д.), которые фиксируются при проникновении через течи.

Классификация методов течеискания представлена на следующей схеме.

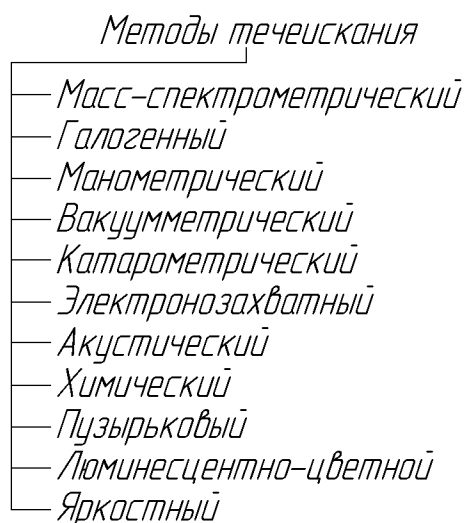


Рис. 35. Классификация методов течеискания

Масс-спектрометрический метод основан на регистрации проникающего через течи пробного вещества путем разделения ионов разных газов по отношению их массы к заряду.

Галогенный метод основан на регистрации проникающего через течи пробного вещества по увеличению эмиссии положительных ионов с накаливаемой металлической поверхности при попадании на нее галогенов.

Манометрический метод основан на регистрации изменения полного давления в системе испытаний в результате перетекания проникающих веществ через течи.

Вакуумметрический метод основан на регистрации изменения давления или состава газовой среды в вакуумированной полости в результате натеканий.

Катарометрический метод основан на регистрации проникающих через течи веществ, теплопроводность которых отличается от теплопроводности воздуха.

Электрозахватный метод основан на регистрации перетекания через течи электроотрицательных пробных веществ, склонных к образованию отрицательных ионов, по изменению тока разряда.

Акустический метод основан на регистрации акустических волн, возбуждаемых при вытекании пробных веществ через течи.

Химический метод основан на регистрации проникающих через течи веществ по эффекту химических реакций с индикаторным покрытием.

Пузырьковый метод основан на регистрации пузырьков пробного газа, проникающего через течи изделия, погруженного в жидкость или покрытого пленкой, способной образовывать пузыри.

Люминесцентно-цветной метод основан на регистрации контраста цветного или люминесцирующего следа, образуемого проникающим веществом на фоне поверхности контролируемого изделия в видимом или длинноволновом ультрафиолетовом излучении.

Яркостный метод основан на регистрации контраста ахроматического следа, образуемого проникающим веществом, на фоне поверхности контролируемого изделия в видимом излучении.

В зависимости от метода течеискания применяются следующие виды течеискателей:

- *Масс-спектрометрические течеискатели.* Основаны на принципе ионизации газов и паров с последующим разделением образовавшихся ионов по отношению их масс к заряду в магнитных и электрических полях. Этот метод является наиболее универсальным и чувствительным. Порог чувствительности к потоку пробного газа составляет до $5 \cdot 10^{-15}$ м³Па/с. Существуют масс-спектрометрические течеискатели, рассчитанные на работу с различными пробными веществами, но в большинстве случаев предпочтение отдается гелию. Основным элементом, определяющим тип и возможности масс-спектрометра, служит его анализатор. На рис. 36 представлена схема разделения ионов применяемая в анализаторах гелиевых масс-спектрометрических течеискателей. Ионный источник И и коллектор К располагаются так, чтобы регистрировались ионы с определенной массой и зарядом, движущиеся в магнитном поле напряженности H_0 по окружности радиуса R . В зависимости от этого радиуса (от траектории движения иона) определяется масса и заряд ионов проходящих через коллектор.

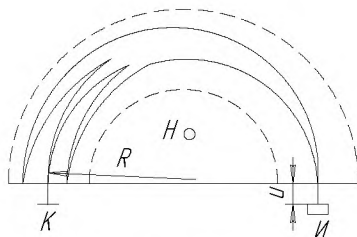


Рис.36. Схема распределения ионов в поперечном магнитном поле магнитного анализатора со 180° фокусировкой.

- *Галогенные течеискатели.* Основаны на свойстве накаливаемой платины ионизировать на своей поверхности атомы щелочных металлов, обладающие низким потенциалом ионизации, и резко увеличивать эмиссию регистрируемых течеискателем положительных ионов в присутствии галогенов. Порог чувствительности к потоку пробного газа составляет до $1 \cdot 10^{-9}$ м³Па/с.

- *Инфракрасные течеискатели.* Основаны на поглощении инфракрасных лучей газами. Инфракрасные лучи поглощают все газы, молекулы которых состоят не менее чем из двух различных атомов. Этим определяется широкий круг пробных веществ, которые можно использовать в процессе контроля герметичности изделий (закись азота, пары фреона, аммиак и т. д.). Данные приборы отличаются высоким быстродействием (не более 4 с.). Порог чувствительности к потоку пробного газа составляет до $1 \cdot 10^{-8}$ м³Па/с. В зависимости от принципа действия лучеприемника инфракрасные приборы делятся на несколько групп. На рис. 37 представлена схема оптико-акустического лучеприемника. Лучеприемник 1, в котором находится газ, способный поглощать инфракрасные лучи, имеет окно 2, которое выполнено из материала пропускающего инфракрасное излучение. Через окно поступает поток инфракрасного излучения от источника 3, прерываемый с определенной частотой обтюратором 4, приводимым в движение синхронным двигателем 5. Вследствие этого газ периодически нагревается за счет поглощения энергии излучения и в лучеприемнике возникают тепловые колебания, вызывающие колебания давления газа, которые преобразуются конденсаторным микрофоном 6 в электрический выходной сигнал. Перед лучеприемником устанавливается рабочая камера 7, в которой находится контролируемый объект с пробным газом. В зависимости от концентрации пробного газа в рабочей камере (зависит от величины протечки) поглощается часть инфракрасного излучения. В лучеприемник будет поступать ослабленный поток энергии инфракрасного излучения. О величине этого ослабления судят по выходному сигналу из лучеприемника.

- *Манометрические течеискатели.* Основаны на регистрации изменения давления в изделии или в испытательной камере. Обычно контролируют величину падения давления за определенное время. Порог чувствительности к потоку пробного газа составляет до $5 \cdot 10^{-6}$ м³Па/с.

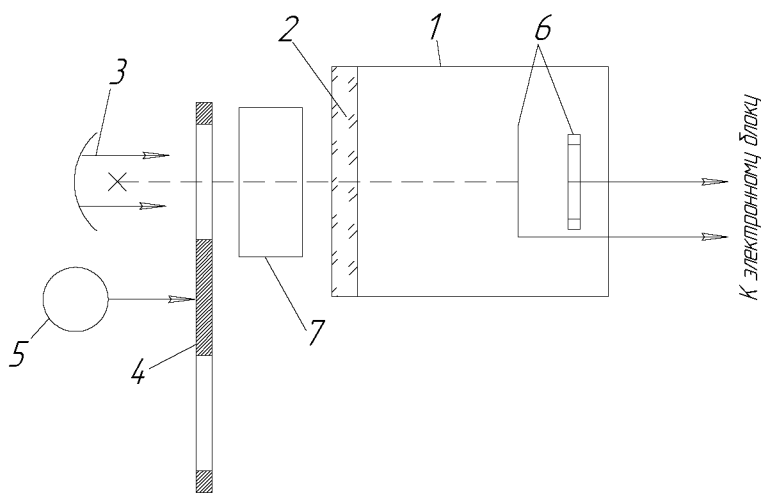


Рис. 37. Схема оптико-акустического лучеприемника.

Оптические методы контроля

Оптические методы контроля основаны на анализе взаимодействия оптического излучения (электромагнитное излучение с длиной волны $10^{-5} \dots 10^{-3}$ мкм.) и объекта контроля. По характеру взаимодействия с объектами контроля различают методы прошедшего, отражённого, рассеянного и индуцированного излучения.

При проведении оптического контроля используются когерентные и некогерентные источники излучения. Когерентные источники излучения отличаются от некогерентных тем, что излучают волны с одинаковыми частотами колебаний и постоянными разностями фаз:

$$\varphi_1 - \varphi_2 = \text{const.}$$

где φ_1 и φ_2 – фазы первой и второй волны.

Когерентные волны при наложении дают устойчивое колебание с неизменной амплитудой.

Информативными параметрами оптического излучения являются пространственно-временные распределения его амплитуды, частоты, фазы, поляризации и степени когерентности. Для получения дефектоскопической информации используют изменение этих параметров при взаимодействии оптического излучения и объекта контроля в соответствии с явлениями интерференции, дифракции, поляризации, преломления, отражения, поглощения, рассеивания, а также изменение самого объекта контроля под действием света в результате эффектов фотопроводимости, люминесценции и т. д. Применяются оптические методы для определения: геометрических размеров объекта, наличия дефектов (нарушений сплошности), физико-механических свойств (шероховатость, зерно), компонентного и химического состава, динамических характеристик (видимых реакций напряженности слоя).

Для контроля геометрии макро- и микрообъектов широко используют проекционный метод сравнения или измерения, который заключается в получении увеличенного изображения объекта контроля на экране с последующим его сравнением с изображением эталонного объекта.

Изображение объекта контроля обычно получают с помощью проекторов. На рис. 38 представлены схемы проекторов работающих по принципу подобного увеличения и принципу сведенного изображения. Проекторы подобного изображения применяются для контроля готовых изделий и в процессе их изготовления (станочные проекторы). Проекторы сведенного изображения применяют при массовом производстве однотипных изделий. Меняя угол наклона зеркал, устанавливают номинальный размер изображения. Точность измерения для данного метода составляет до 0,01 мм при увеличении до 20 раз.

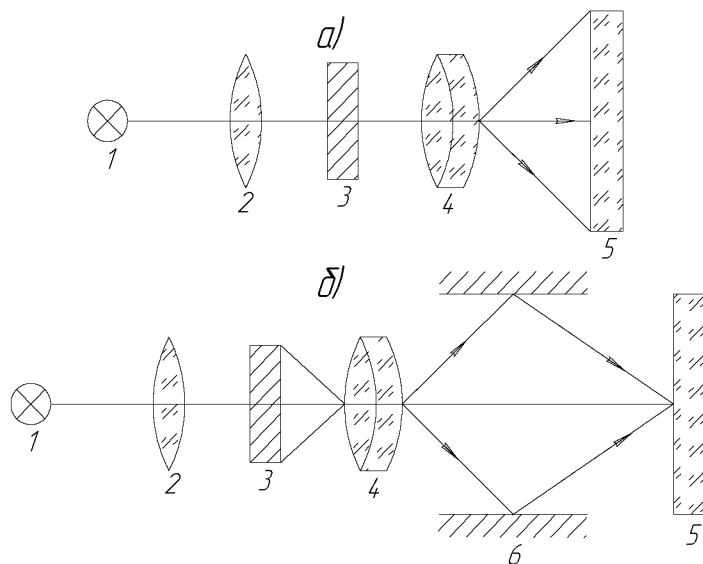


Рис. 38. Схемы проекторов.

а) – подобного увеличения; б) – сведенного изображения.

1 – источник излучения; 2 – конденсатор; 3 – изделие; 4 – объектив; 5 – экран;
6 – зеркало.

Для измерения геометрических параметров объектов также используются лазерные измерители. Измерение параметров объекта осуществляется путем его сканирования тонким лазерным лучом, перемещение которого в пространстве по заданной траектории осуществляется с помощью сканатора. Данный метод позволяет контролировать размеры до 0,01 мм.

При измерении с высокой точностью толщин изделий порядка $10^{-2} \dots 10^{-7}$ мм применяют метод лазерной эллисометрии, который базируется на анализе измерений состояния поляризации света, отраженного от поверхности изделия.

Излучение лазеров обладает свойством пространственной и временной когерентности, т. е. регулярностью колебаний в пространстве и времени. Это свойство используется для создания объемного изображения (голограмм) объекта контроля. Голограмма получается в результате интерференции разделенного на две части потока оптического излучения лазера: рассеянного объектом контроля и прямого (опорного) пучка, попадающего на фотопластинку, минуя объект. Изображение объекта восстанавливается путем пропускания опорного пучка через фотопластинку. Голограмма содержит информацию о геометрии объекта.

Для контроля внутренних поверхностей и обнаружения дефектов в труднодоступных местах применяют *эндоскопы*. Принцип действия эндоскопов заключается в осмотре объекта с помощью специальной оптической системы, позволяющей передавать изображение на значительное расстояние (до нескольких метров). На рис. 39. представлена схема гибкого эндоскопа, а на рис.91- структурные схемы волоконных световодов.

Области применения эндоскопов:

Машиностроительные цеха (механосборочные цеха). Эндоскопы различных типов и размеров используют в механосборочных цехах для контроля цилиндрических отверстий, пересекающихся отверстий, внутренней резьбы, чистоты внутренней поверхности и других недоступных участков, которые встречаются в обработанных деталях машин при их сборке. Специфическими узлами, где требуется такой контроль, в первую очередь, являются: ружейные и пулеметные стволы оружия всех калибров, станочные полости, гидравлические цилиндры и т.п. В инструментальных цехах и цехах покраски эндоскопы используются для исследования гладкости внутренних поверхностей резьб, выявления выбоин краски и т.п. В литейных цехах и цехах обработки давлением эндоскопы широко используются для просмотра внутренних поверхностей с целью обнаружения таких дефектов, как трещины, пористость, пузыри и т.п.

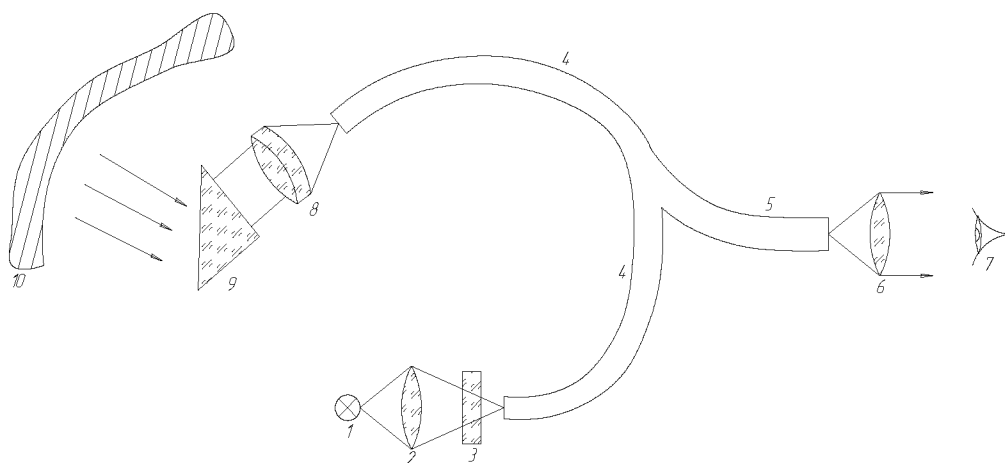


Рис. 39. Схема гибкого эндоскопа.

1 – источник света; 2 – конденсатор; 3 – тепловой фильтр; 4 – внешний световод; 5 – световод для передачи изображения; 6 – окуляр; 7 – система регистрации (глаз, фотокамера); 8 – объектив; 9 – призма бокового обзора; 10 – объект контроля.

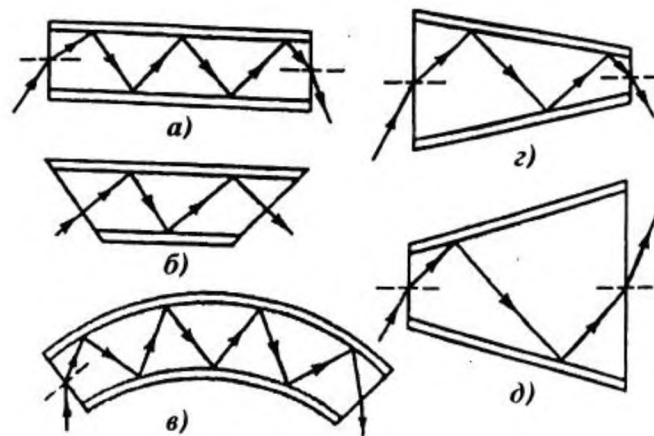


Рис. 40. Структурные схемы волоконных световодов:

a - с прямыми торцами; *б* - с косыми торцами; *в* - изогнутые; *г* - фокен (уменьшает размеры передаваемого изображения); *д* - афокен (увеличивает размеры передаваемого изображения)

Отверстия, полученные при литье и обработке давлением, по сравнению с отверстиями, полученными резанием, отличаются по габаритам, шероховатости поверхности и форме сечения, что требует эндоскопов особой конструкции и специфических приемов работы: значительная глубина отверстий затрудняет использование стандартных эндоскопов из-за пониженной яркости изображения и ухудшения разрешающей способности; более грубая поверхность требует перед визуальным контролем обязательной многократной механической и химической очистки; нецилиндричность формы сечения вызывает особые требования к конструкции центрирующих устройств и фокусирующих систем.

Авиационно-космическая промышленность. Надежность эксплуатации летательных аппаратов в значительной степени зависит от качества визуального контроля узлов двигателей, систем питания горючим, воздухом, систем управления и торможения.

Так, эндоскопы, спроектированные для ввода в камеру сгорания через отверстия в штуцере горелки, позволяют получить цветное изображение поверхности, в частности, определить качество сварного соединения без демонтажа двигателя.

С помощью эндоскопов можно эффективно контролировать втулки пропеллеров, передаточные шестеренчатые механизмы, гидравлические цилиндры, механизмы приземления. Лонжероны крыльев и распорки контролируются на наличие усталостных трещин, а заклепки и секции крыльев - на наличие коррозии.

Автомобильная промышленность. Эндоскопы можно эффективно использовать для контроля отливок и поковок, цилиндров после хонингования и т.п.

Недоступные места масляных систем маленьких помп, электрических двигателей и прочих механических и электрических конструкций могут быть легко исследованы без разборки. Эндоскопы могут быть широко использованы при решении многих трудных проблем визуального контроля при обслуживании и ремонте автомобилей, в частности, при диагностировании двигателей. Их можно вводить в отверстия узлов и осматривать состояние кулачков и шестерен, муфт и тормозов и других подвижных деталей с целью определения их износа, например, цилиндры двигателей могут проверяться через отверстия для свечей без удаления головки цилиндра. Стенки цилиндра, клапаны, головки поршня надежно контролируются визуально. Повышенный износ, нагар и другие дефекты поверхности легко наблюдаются. Коленчатый вал и картер могут быть продиагностиро-

ваны через отверстия корпуса без разборки и съема коленчатого вала. Подобным образом могут быть проверены механические или гидравлические передачи и дифференциал.

Электростанции и атомные объекты. На тепловых электростанциях эндоскопы используются для контроля лопаток турбин, генераторов, двигателей, насосов, конденсаторов, панелей управления и других электрических и механических элементов без демонтажа. Они активно применяются также при визуальном контроле бойлерных труб на точечную коррозию, накипь и другие дефекты. Эндоскопы, используемые для такой работы, обычно сконструированы секциями длиной 2 ... 3 м, которые могут пристыковываться друг к другу, давая прибор требуемой длины.

Эндоскопы и методика их использования при контроле внутренних поверхностей атомных реакторов без разборки с целью обнаружения волосовых трещин, коррозии и других дефектов имеют следующие особенности: в оптических системах почти всегда ставятся оптические элементы из специальных сортов стекла, не темнеющего под высокой лучевой нагрузкой; используются приборы большой вертикальной компоновки со сложной оптической осью при значительном удалении окуляра по горизонтали от исследуемого загрузочного канала; почти все приборы способны работать при тепловых нагрузках до 150 °С, т.е. сразу же после выключения реактора.

Химическая и нефтехимическая промышленность. Испарительные конструкции, ректификационные блоки, камеры химических реакций, цилиндры, реторты, печи, камеры сгорания, теплообменники, 1 сосуды под давлением и много других типов оборудования для химических процессов можно визуалью проконтролировать как обычными эндоскопами, так и эндоскопами измененных конструкций. Цилиндры и барабаны могут быть проконтролированы на состояние внутренних поверхностей, например, на коррозию, ржавчину и другие дефекты. Эффективен также контроль цистерн на ржавчину, коррозию, состояние выпускных клапанов.

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К ПРАКТИЧЕСКИМ ЗАНЯТИЯМ

Измерительная акустико-эмиссионная система и методика экспериментальных исследований

Для регистрации сигналов акустической эмиссии (АЭ) и обработки информации, полученной от объекта контроля, была разработана измерительная акустико-эмиссионная система (ИАЭС) (рис.1). Блок-схема системы изображена на рис. 2. Принцип работы одного её канала следующий.

Регистрация акустической эмиссии происходит следующим образом – акустические волны распространяются от источника к датчику (одному или нескольким), где они преобразуются в электрические сигналы и далее через аналогово-цифровой преобразователь (АЦП) обрабатываются средствами вычислительной техники. Кратко опишем структуру информационной системы. На данный момент в ней выделяются три модуля. Первый модуль предназначен для получения потока импульсов с выхода платы АЦП в, практически реальном времени. В нём задаются характеристики работы платы АЦП, и базовые параметры ожидаемого импульсного потока – нулевой уровень сигнала, величина минимального отклонения. Второй модуль служит для анализа потока импульсов и предназначен для работы как с данными, поступающими в реальном времени, так и с сохранёнными данными (режим пост-обработки). В этом модуле происходит выделение из импульсного потока отдельных сигналов акустической эмиссии и расчёт их базовых характеристик. Выделение сигналов акустической эмиссии производится с учётом «зоны молчания» - статистического критерия, позволяющего определять принадлежность последовательных импульсов к одному событию акустической эмиссии. Этот критерий рассчитывается для конкретного материала и условий нагружения заранее. В системе также предусмотрена возможность для расчёта этого критерия по заранее сохранённым сигналам акустической эмиссии. Дельнейшие разработки в этом

модуле заключается в расширении пространства признаков за счёт расчёта дополнительных коэффициентов, как отдельных импульсов, так и всего импульсного потока в целом. Полученные во втором модуле данные используются как для отображения графической информации пользователю, так и в качестве входных данных для третьего модуля, осуществляющего экспертную оценку обрабатываемого акустического процесса. Экспертная оценка строится на основе набора правил описывающих соотношения характеристик. Предполагается использование в экспертном модуле классифицирующих нейронных сетей на основе расширенного пространства признаков. Так же в информационной системе реализована возможность импорта полученных данных во внешние программы для дальнейшего анализа средствами стандартных математических пакетов.

Возникающие микротрещины излучают при образовании ультразвуковые волны, которые имеют форму затухающей синусоиды (рис. 3 а). Такая волна доходит до датчика АЭ, представляющего собой пьезокерамическую таблетку цирконата-титоната свинца ЦТС-19, помещенную в латунный корпус (рис. 2 б), и преобразуется в электрический сигнал. Преобразование упругой волны в электрический сигнал осуществляется за счет пьезоэлектрического эффекта, заключающегося в появлении электрических зарядов противоположных знаков на гранях пьезокристаллов при их механическом деформировании. Для улучшения акустического контакта датчика с образцом он предварительно должен смазываться маслом. С датчика сигнал поступает на предварительный усилитель 3, функция которого заключается в согласовании высокого выходного сопротивления датчика с кабелем связи, а также в предварительном усилении с целью улучшения соотношения сигнал-шум.

После дополнительного усиления основным усилителем сигнал поступает в блок обработки сигналов (БОС) 5, где из сигнала сложной формы выделяется сигнал, амплитуда которого пропорциональна максимальной амплитуде огибающей сигнала (рис. 3 в). После окончания работы всю накопленную информацию можно наблюдать на экране 7. Программная обработка информации позволяла построить зависимость числа N_{Σ} импульсов АЭ от времени и определить параметры этой зависимости.

При помощи двухканальных измерений в образце могут быть определены координаты образующихся микротрещин. Рабочий частотный диапазон регистрируемых сигналов составлял 20-1000 кГц, эффективное значение напряжений собственных шумов усилительного тракта, приведённое ко входу предварительного усилителя не более 5 мкВ, точность определения времени прихода сигнала АЭ 0,8 мкс, программируемый коэффициент усиления основного усилителя задавался в пределах от минус 20 до 40 дБ а предварительное усиление 34 дБ, диапазон измерения максимальной амплитуды сигнала от 20 до 134 дБ с точностью ± 1 дБ, максимальное количество регистрируемых каждым каналом за одну секунду сигналов АЭ 1500. Нижний уровень порога дискриминации системы определялся необходимостью устранения электромагнитных помех и составлял 47 дБ на каждом канале, время блокировки составляло 48000 мкс. Согласно [56], это позволяло регистрировать микротрещины размером более 100 мкм. Упругая волна регистрировалась пьезоэлектрическими приёмниками АЭ, сигналы из которых усиливались предварительным усилителем и поступали на блок анализа. Отсюда ряд цифровых параметров, характеризующих поступающие из предварительного усилителя сигналы, передавались по интерфейсу CAN2.0B в компьютер PENTIUM1. Активный элемент приёмников АЭ с частотным диапазоном 20-200 кГц изготавливался из пьезокерамики ЦТС-19.

Блок-схема двухканальной измерительной системы изображена на рис. 4, а принцип её работы заключался в следующем. Упругая волна, распространяющаяся от источника АЭ, поделовательно возбуждает расположенные на поверхности образца пьезопреобразователи. Сигнал, возникающий на преобразователях при каждом акте излучения, проходит через усилители и поступает в блоки 4,5 обработки и управления сигналами, к функциям которых при этом добавляется операция измерения временных интервалов между сигналами, воспринятыми каждым из каналов в отдельности.

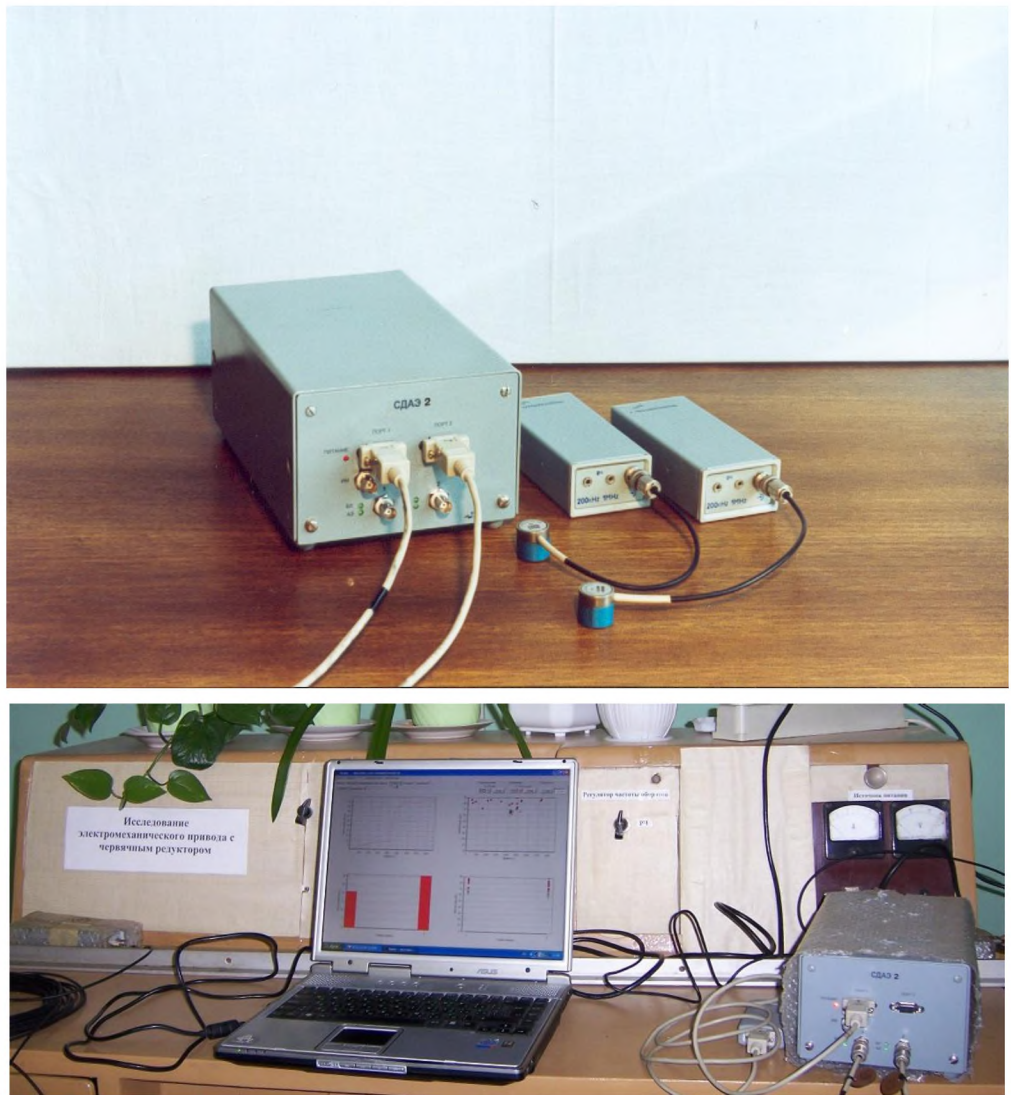
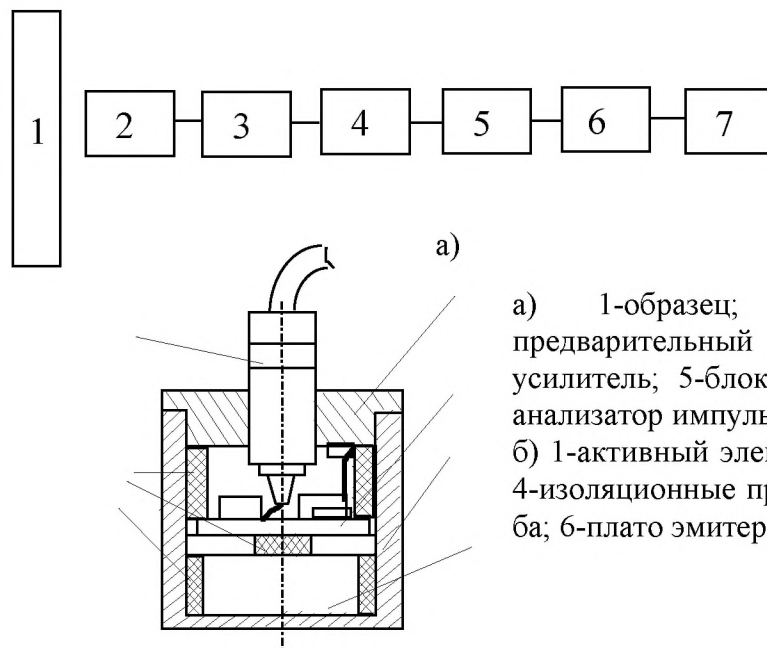


Рис.1 Внешний вид ИАЭС

Блок-схема измерительной системы (а) и конструкция датчика АЭ (б).



а) 1-образец; 2-датчик АЭ; 3-предварительный усилитель; 4- основной усилитель; 5-блок обработки сигналов; 6-анализатор импульсов ; 7-принтер; 8-ЭВМ;
 б) 1-активный элемент; 2-корпус; 3-разъём; 4-изоляционные прокладки; 5-упругая шайба; 6-плата эмитерного повторителя.

б) Рис. 2.

К пояснению принципа работы блока обработки сигналов АЭ.

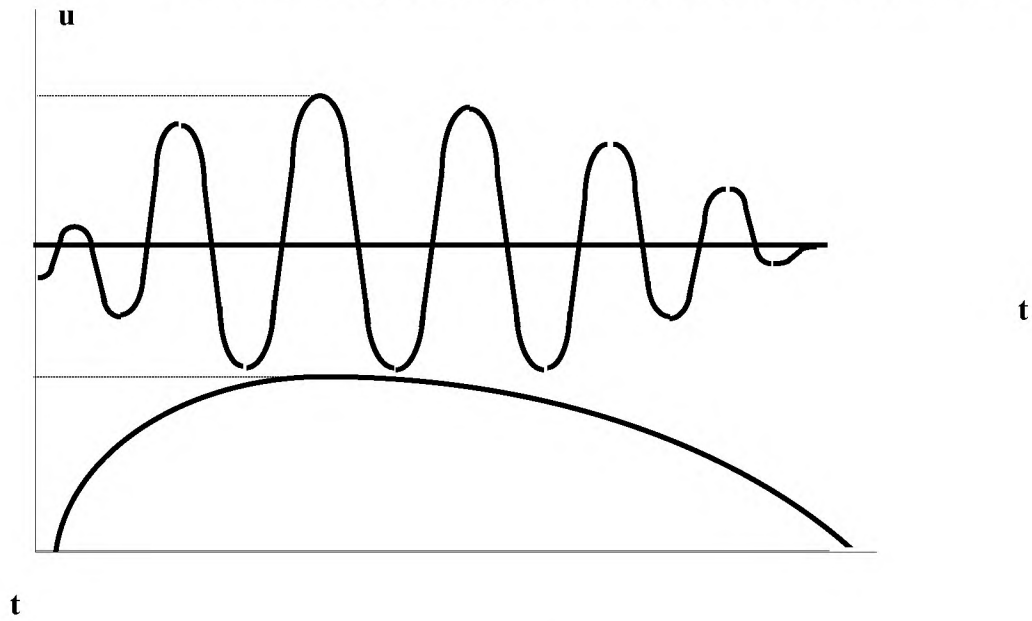
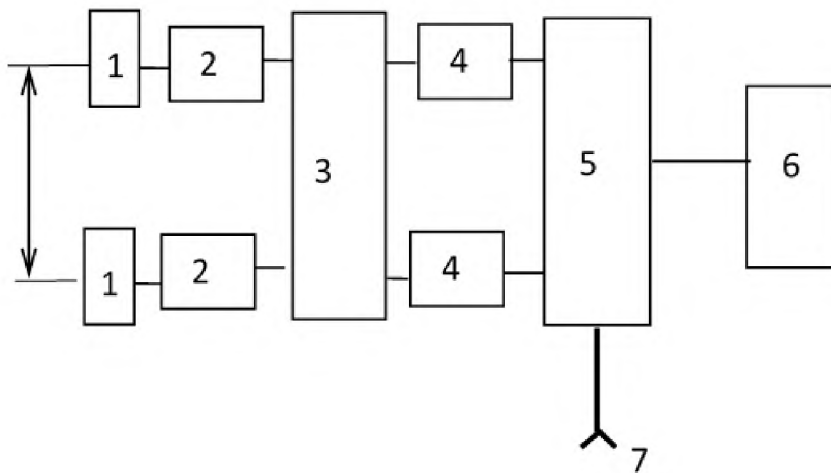
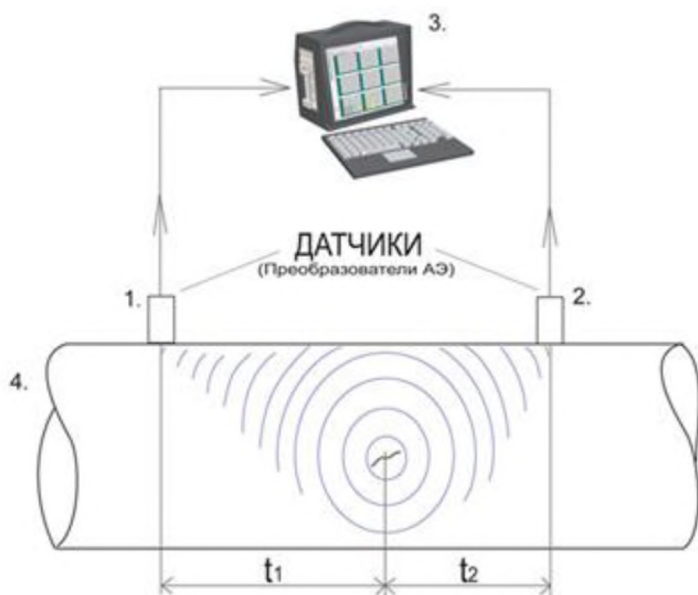


Рис. 3

Блок-схема двухканальной измерительной системы АЭ и принцип определения координаты



1-датчики АЭ; 2-предварительные усилители; 3-блоки регулирования усиления; 4-блок обработки сигналов АЭ; 5- блоки управления, 6 -компьютер; 7-вход внешнего параметра.



- 1 - преобразователь АЭ (приемник 1);
- 2 – преобразователь АЭ (приемник 2);
- 3 – центральный блок сбора и обработки на базе промышленного компьютера;
- 4 – объект контроля;
- t_1 – время прихода сигнала на первый приемник;
- t_2 – время прихода сигнала на второй приемник.

По зарегистрированному времени прихода сигнала t_i на i -й приемник (датчик) системой определяется разность времени прихода T ($T = t_2 - t_1$) на разнесенные приемники. Затем по известной скорости звука в материале и известным координатам приемников программой вычисляются координаты источника (дефекта). Схемы расположения датчиков могут быть различными.

Сигнал, воспринимаемый системой первым, запускает временной отсчет в другом канале, который продолжается до тех пор, пока на него не придет этот же сигнал. Если за время максимально возможного ожидания $t = B/v$, определяемое наибольшим расстоянием B между преобразователями и скоростью v распространения звука, хотя бы один из оставшихся сигналов группы не придет, производится общий сброс временного отсчета и сигнал не регистрируется. В противном случае по разности времён прихода сигнала АЭ на датчики различных каналов при помощи компьютера определяется координата источника АЭ.

Программное обеспечение (ПО) измерительной акустико-эмиссионной системы разделено на четыре взаимодействующие между собой части. Это обусловлено как конструктивными особенностями системы, так и условиями, накладываемыми операционной системой на функционирование программного обеспечения. Схема обработки информационного потока поступающего от предусилителей датчиков, регистрирующих сигналы АЭ, изображена на рисунке 4 а.

Аналоговая информация (1), поступающая в основной модуль прибора от предусилителей обрабатывается программой (2), загруженной во FLASH память этого модуля. Эта программа преобразует аналоговую информацию в цифровой поток (3), который поступает в компьютер по высокоскоростной линии связи. Этот канал связи предоставляет возможность обмена информацией со скоростью до 1 Мбит/с. Работа с каналом обеспечивается полностью программируемым контроллером M167-1, встроенным в компьютер. Данная плата, спроектированная на базе 16-ти разрядных микроконтроллеров фирмы Siemens (Infineon) C167 и STMicroelectronics (Thomson) ST10R167, предназначена для построения промышленных цифровых систем реального времени. Взаимодействие прикладной программы с контроллером обеспечивает драйвер (4) этого устройства. Он представляет собой программу, обладающую набором функций, для изменения настроек контроллера и получения приходящих по каналу данных. Результаты (5), возвращаемые драйвером, обрабатываются прикладной программой (6) в реальном времени. После окончания испытаний программа создает выходные файлы, в которых сохраняется, вся информация (7), полученная от основного модуля системы. Эти файлы используются для дальнейшей обработки с помощью программ, реализующих альтернативные методы анализа (8). Выходные данные (9) этих программ сохраняются в файлах (10), используемых в дальнейшем для построения отчетов.

Диаграмма взаимодействия, описанных выше частей программного обеспечения, изображена на рисунке 4 б. Рассмотрим механизм взаимодействия частей ПО более подробно. Программа предварительной обработки (2), физически размещенная в памяти основного модуля (блока анализа) измерительной системы передает цифровую информацию в компьютер, взаимодействуя, таким образом, с драйвером (4). Программа (2) в свою очередь может настраиваться прикладной программой (6) используя драйвер (4), как промежуточный программный слой при передаче команд. Взаимодействие драйвера и прикладной программы осуществляется при возвращении в прикладную программу (6) информации от контроллера.

Схема обработки информационного потока (а) и диаграмма взаимодействия частей ПО (б)

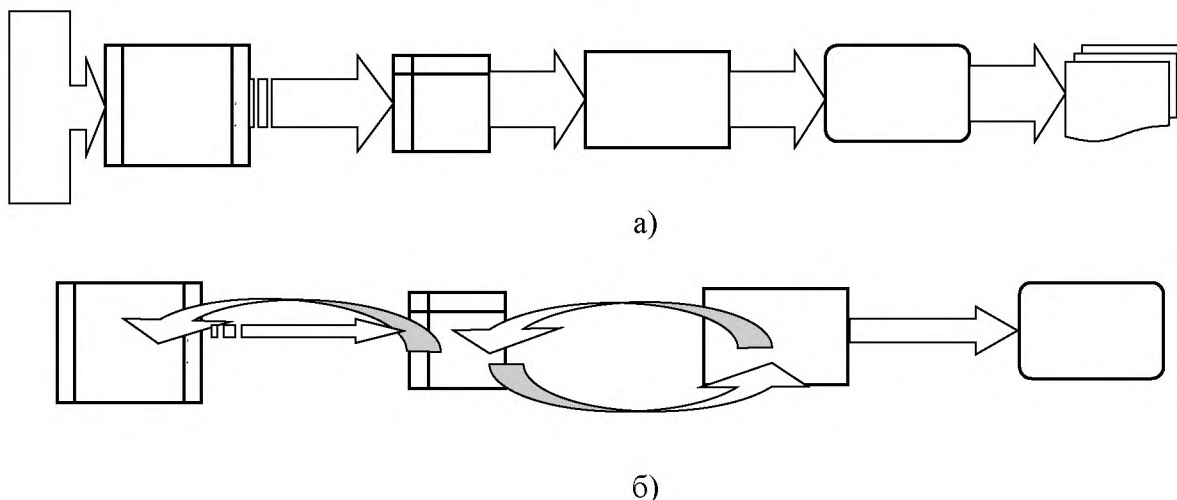


Рис.32

Прямое взаимодействие прикладной программы (6) и программ постобработки (8) не предусмотрено. Возможна только передача данных в одном направлении через промежуточный файл. Программа 2 реализует основную функциональность блока анализа системы – на основании первичных измеряемых параметров АЭ: время прихода сигнала АЭ с начала испытания; время нарастания сигнала АЭ; Длительность сигнала АЭ; Число выбросов сигнала АЭ; Амплитуда импульса АЭ; Энергия импульса АЭ. Программа определяет: момент регистрации сигнала с точностью 0,8 мкс; момент окончания сигнала АЭ с точностью 0,8 мкс; момент максимума огибающей сигнала АЭ с точностью 0,8 мкс; максимальную амплитуду огибающей сигнала АЭ с точностью 2%; выделяет огибающую сигнала; осуществляет фильтрацию сигнала АЭ от низкочастотных помех, вызванных вибрацией контролируемого объекта при работе. Драйвер программируемого контроллера М167-1 позволяет изменять отдельно для каждого канала такие параметры системы, как коэффициент передачи (дБ); уровень порога дискриминации (дБ); время блокировки канала (мкс).

Прикладная часть программного обеспечения (6,8) системы служит для сохранения и визуализации полученных от блока анализа результатов. Программа 6 представляет собой средство, предназначенное для работы в режиме реального времени. Основными функциями этой программы являются: удобная настройка прибора; сбор и сохранение АЭ информации, полученной от блока анализа системы; числовое представление на экране полученных данных; построение графиков зависимостей различных регистрируемых и расчетных характеристик; определение линейной координаты источника сигнала.

Во время испытания в реальном масштабе времени строятся графики (рис.33), количество и отображаемые зависимости которых легко настраиваются. Графики можно про-

смотреть, переключая страницы. Все результаты работы программы сохраняются в файлах различных форматов. Таких как файл данных ASCII; файл данных Excel; бинарный файл данных. Получаемая информация выводится на экран монитора и печать в цифровом виде (табл. 1, рис. 34-35) и приемлема для дальнейшей компьютерной обработки при любом режиме нагружения и для любого объекта контроля. После завершения работы программы (6) полученные файлы с данными можно обрабатывать другими программами (8) такими как, например MS Excel. Это позволяет применять альтернативные методики обработки, не предусмотренные программой 6.

Для исследования процесса разрушения были проведены эксперименты по регистрации АЭ во время нагружения образцов сварных соединений (рис.34). Образцы представляли собой сваренные встык стальные пластины, выполненные из листового проката ОАО «Новолипецкий металлургический комбинат», материал пластин – Ст3пс, сварка ручная электродами Э46А марки УОНИ-13/45Ф-4,0-УД ГОСТ 9466-75, ГОСТ 9467-75, ТУ1272-014-11142306-97 и автоматическая, выполненная в среде углекислого газа с применением проволоки СВ-08Г2С. На нагружающем устройстве, разработанном профессором Жуковым В.А., проводилось нагружение образцов в режиме диагностического нагружения сосудов давления, в процессе которых регистрировались сигналы АЭ.

Рис.32 Таблица записи данных об объекте контроля

Предоставление информации в численном виде

Время (с)	Номер	Канал	Амплитуда АЦП	Амплитуда (дБ)	Энергия (мВ ² хмс)	РВП (мкс)	Максимум (мкс)	Длительность (мкс)	Число выбросов
5	1	1	635	81	1007	0	122	168	13
5	1	2	138	66	43	20	52	152	47
5	2	2	19	49	0	0	41	60	59
5	3	1	121	67	77	0	0	356	11

Определение координаты источника АЭ, скорости прохождения и коэффициента затухания упругой волны в материале

1 Координата источника АЭ определяется по разнице времён прихода (РВП) упругой волны на преобразователи АЭ и определяется автоматически измерительной системой.

2. На балке с преобразователями, установленными на расстоянии L друг от друга, методом Су-Нильсена (облом карандаша) моделируем источник сигнала АЭ на расстоянии 10-20 см от одного из датчиков со стороны, противоположной расположению второго датчика

3. По колонке “РВП” Табл. 1 определяем разницу времён прихода (РВП) сигнала на преобразователи

4. Определяем скорость упругой волны путём деления расстояния L между датчиками на РВП

5. П.1 повторяем в непосредственной близости от одного из преобразователей АЭ

6. Коэффициент затухания сигнала определяем, как отношение разницы амплитуд сигнала, зарегистрированного разными каналами, на расстояние L между датчиками.

Задание: 1. Описать метод акустической эмиссии и принцип действия измерительной системы АЭ

2. Вывести формулы расчёта координаты источника АЭ через РВП и разницу амплитуд сигнала

3. На основе полученных данных экспериментов рассчитать коэффициент затухания и скорость распространения сигнала по образцу

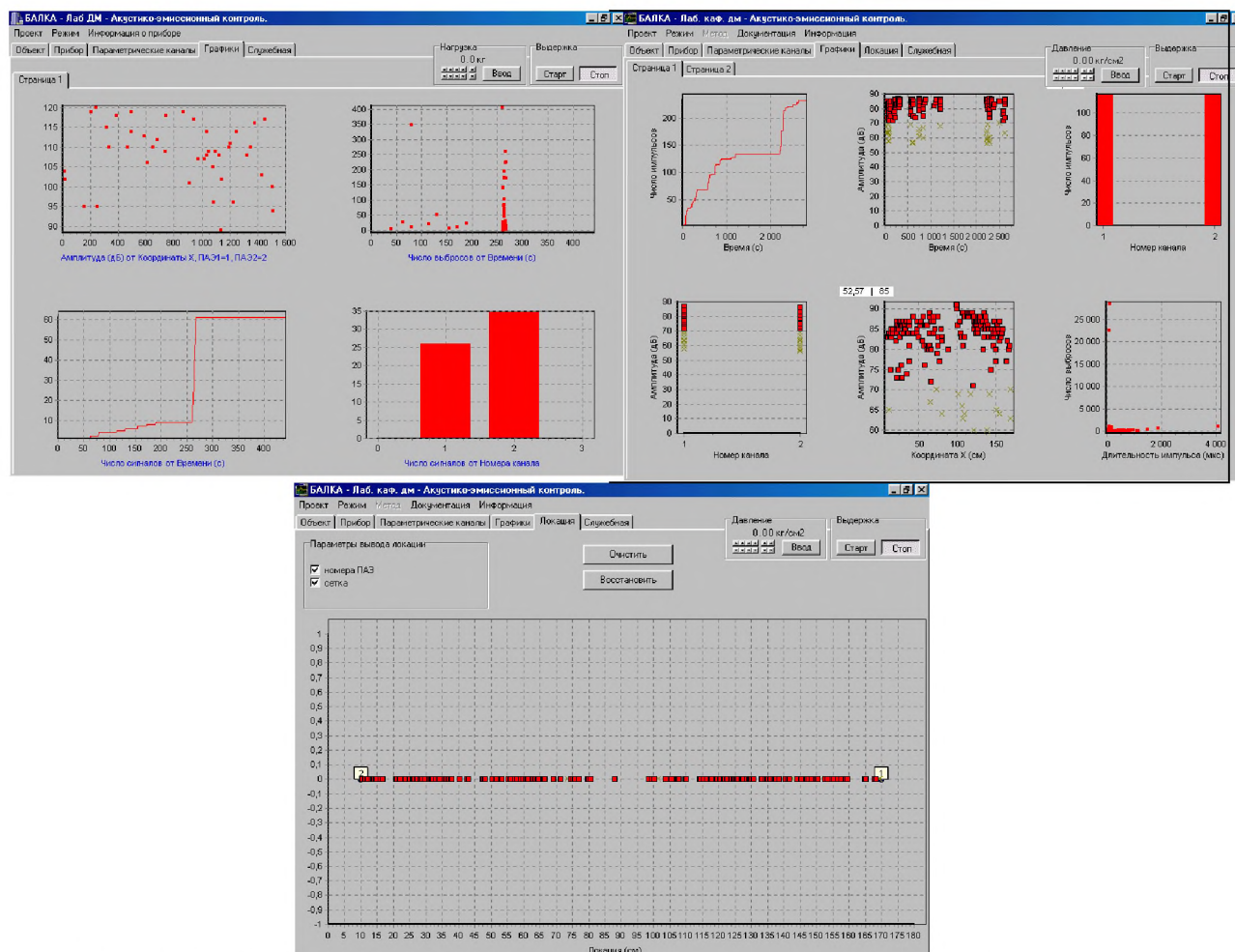


Рис.34. Изображение на мониторе компьютера при определении координаты источника сигнала АЭ

Образцы сварных соединений.

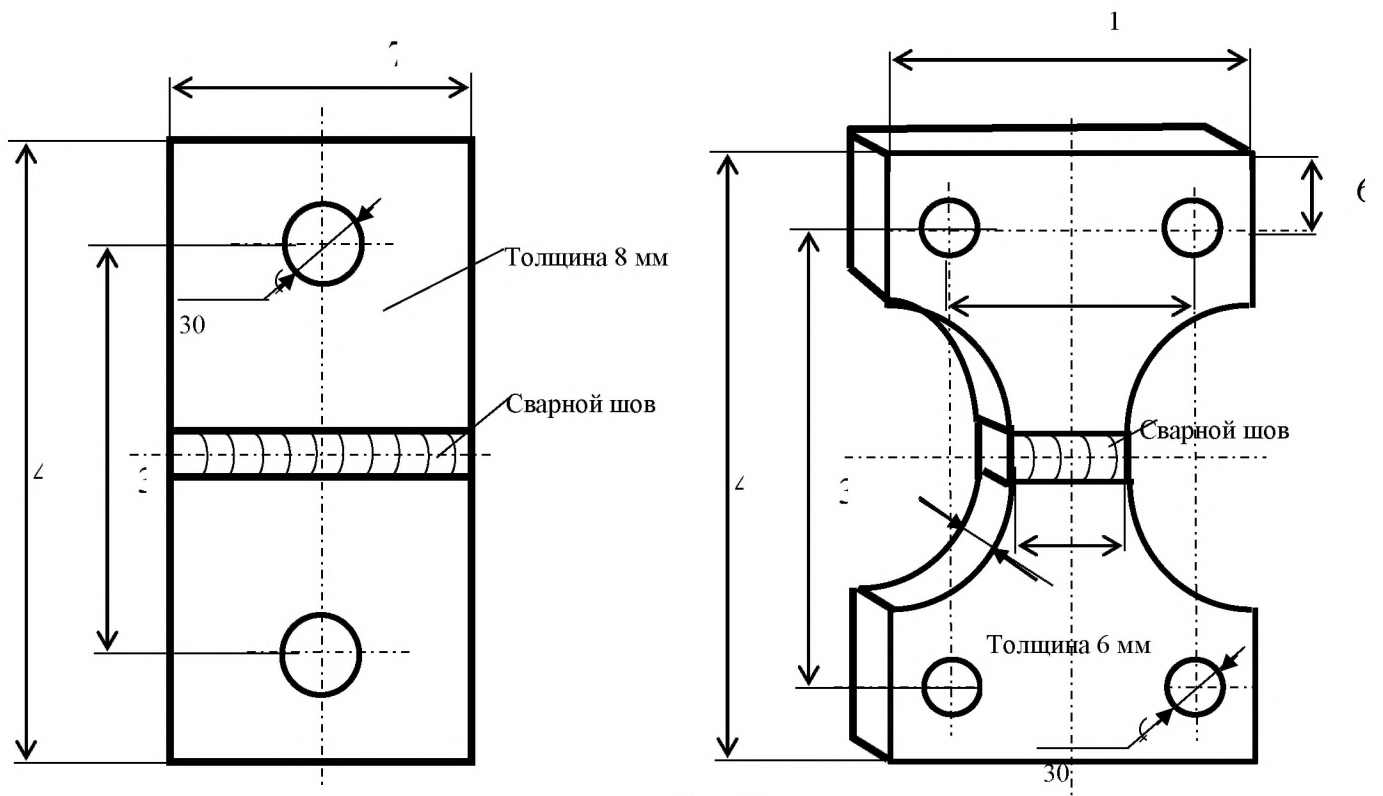


Рис. 35



Рис.36

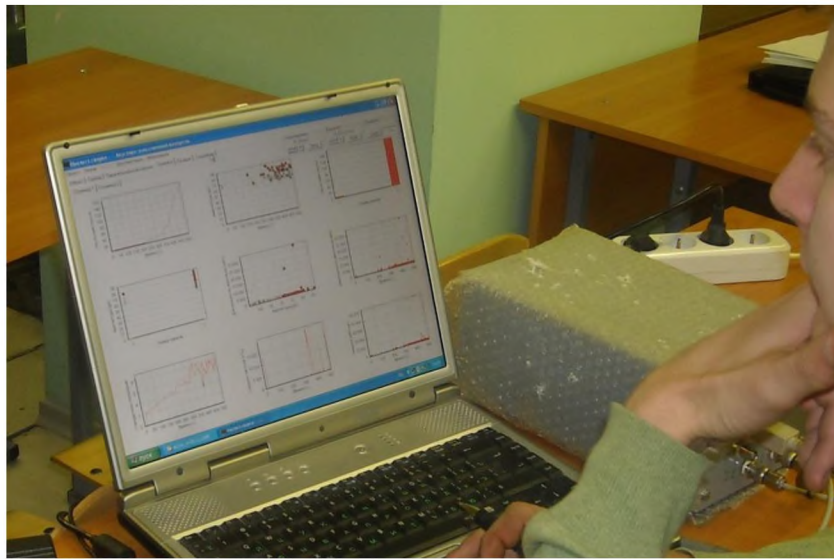
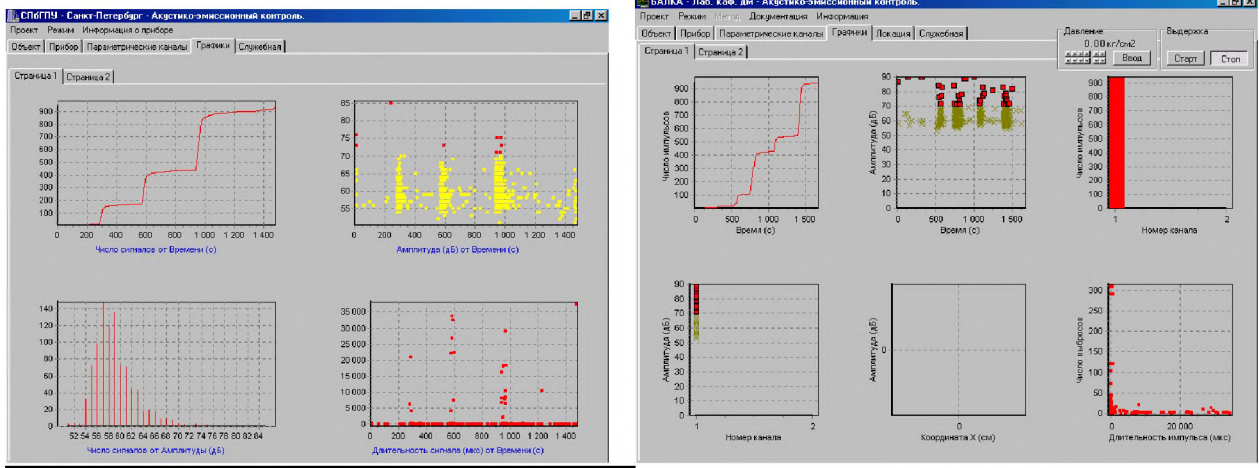


Рис.37. Изображение на мониторе компьютера во время испытаний образцов сварных соединений

БАЛКА - Лаб. каф. дм - Акустико-эмиссионный контроль.

Проект Режим Метод Документация Информация

Объект Прибор Параметрические каналы Графики Локация Служебная

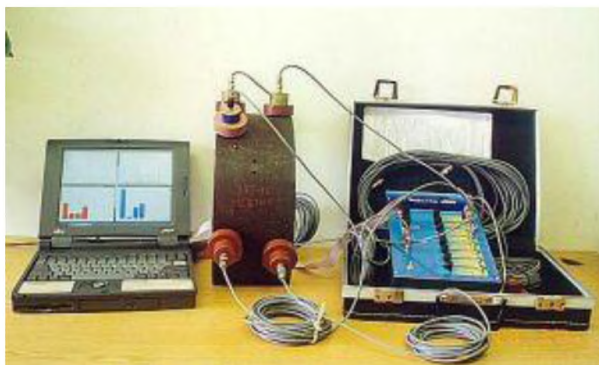
Давление: 0.00 кг/см2

Выдержка: [Start] [Stop]

Время (с)	Номер	Канал	Амплитуда (дБ)	Энергия (нВ2мс)	РВП (мкс)	Максимум (мкс)	Длительность (мкс)	Число выдержек
2594	227	1 (1)	72	131	0	48	495	4
		2 (2)	70	19	522	19	131	3
2595	228	1 (1)	76	199	0	46	290	14
		2 (2)	72	33	516	11	105	23
2630	229	2 (2)	74	43	0	9	106	19
		1 (1)	66	8	566	14	134	43
2631	230	2 (2)	83	183	0	9	62	13
		1 (1)	71	1130	456	8	5654	497
2632	231	2 (2)	88	1404	0	11	286	54
		1 (1)	74	2471	434	2	6749	560
2632	232	2 (2)	63	1	0	50	73	121
2633	233	2 (2)	86	446	0	12	70	4
		1 (1)	65	336	366	2	7285	518

Рис. 38 Предоставление информации в численном виде

Акустико-эмиссионная аппаратура



Оригинальное оборудование "Экситон" (прибор и преобразователи) для проведения контроля методом акустической эмиссии с получением результатов контроля в режиме реального времени.

Разработан в соответствии с РД-03-131-97 "Правила организации и проведения акустико-эмиссионного контроля сосудов, аппаратов, котлов и технологических трубопроводов", утвержденных постановлением Госгортехнадзора России 11.11.1997. Аппаратура прошла стандартизацию Комитетом Российской Федерации по стандартизации, метрологии и сертификации. Технические условия: ТУ 4276-010-52620717-01. Сертификат об утверждении типа средств измерения RU.C.27.003.A №10379. Регистрационный номер Государственного реестра средств измерений №21486-01.

Оригинальной особенностью разработанной аппаратуры "Экситон" является получение оператором результатов контроля в реальном времени. Прибор представляет собой переносную систему, состоящую из ПК блокнотного типа, усилительно-преобразовательного блока с автономным питанием, ПАЭ и кабелей, расположенных в чемодане типа "Дипломат". В настоящее время имеется несколько модификаций аппаратуры, отличающиеся количеством каналов (от 4 до 32), мощностью центрального процессора (до "Pentium-3"), дополнительными программными функциями (например, спектральный анализ), источником питания.

Число независимых каналов приема информации - 4 (8)

Регистрируемые параметры (по ГОСТ 27655-88): число импульсов N_e , суммарный счет N , активность N_e , энергия импульсов (MARSE), амплитуда импульса, длительность, время регистрации, координаты всех сигналов (превышающих заданный уровень дискриминации), а также параметры нагрузки.

Рабочий частотный диапазон 50 - 500 kHz

Динамический диапазон сквозного тракта АЦП (с применением компандера) - 70дБ. Предварительный усилитель (совместно с ПЭП в металлическом корпусе на магните) - 40 дБ. Выравнивание чувствительности измерительных каналов с точностью : от 0,27 - до 1дБ. Неравномерность АЧХ в пределах 50 - 500 (кГц) -3дБ. Ослабление сигнала за пределами рабочего диапазона при расстройке на октаву - 32 дБ. Приведенное эффективное значение собственных шумов усилительного тракта не более 5 мкВ. Точность определения координат сигналов (измерения времени запаздывания сигналов - (40 μ s). Диапазон фиксации энергий 0,2-13107 сдБ (MARSE-измеренная площадь огибающей сигнала). Питание 12 В (от внутренних источников постоянного тока, что исключает помехи по питанию). Вес (совместно с ПАЭ, кабелями, эл. имитатором) - не более 8 кг .

С прибором поставляется специализированный ПК (Notebook) с программой для детального анализа информации, оценки по выбранному критерию, оформления результатов контроля и распечатки полученных данных на принтере (в соответствии с требованиями РД-03-131-97).

Время непрерывной работы ограничено временем работы ПК в автономном режиме, и составляет примерно 120 мин с внутренним источником, и до 6 часов с использованием внешнего источника (в зависимости от модели)



Оригинальное оборудование "Экситон" (прибор и преобразователи) для проведения контроля методом акустической эмиссии с получением результатов контроля в режиме реального времени.

Разработан в соответствии с РД-03-131-97 "Правила организации и проведения акустико-эмиссионного контроля сосудов, аппаратов, котлов и технологических трубопроводов", утвержденных постановлением Госгортехнадзора России 11.11.1997. Аппаратура прошла стандартизацию Комитетом Российской Федерации по стандартизации, метрологии и сертификации. Технические условия: ТУ 4276-010-52620717-01. Сертификат об утверждении типа средств измерения RU.C.27.003.A №10379. Регистрационный номер Государственного реестра средств измерений №21486-01.

Оригинальной особенностью разработанной аппаратуры "Экситон" является получение оператором результатов контроля в реальном времени. Прибор представляет собой переносную систему, состоящую из ПК блокнотного типа, усилительно-преобразовательного блока с автономным питанием, ПАЭ и кабелей, расположенных в чемодане типа "Дипломат". В настоящее время имеется несколько модификаций аппаратуры, отличающиеся количеством каналов (от 4 до 32), мощностью центрального процессора (до "Pentium-3"), дополнительными программными функциями (например, спектральный анализ), источником питания.

- Регистрация всех традиционных параметров АЭ по РД-03-131-97, включая MARSE
- Регистрация формы сигнала и его спектральный анализ в каждом канале в реальном времени
- Оценка степени опасности дефекта по системе классификации на основе нечеткой логики (Fuzzy Logic)
- Сетевая операционная система реального времени QNX;
- Локальная сеть ETHERNET между модулями;
- Возможность расширения системы до 256 каналов;
- Динамический диапазон измерения сигналов: 60 - 80дБ;
- Частотный диапазон: 20-1000 кГц;
- Частота оцифровки канальных АЦП: 2 МГц.
- Совместимость со всеми типами датчиков фирмы PAC

Особенности эксплуатации автоматизированных вихретоковых дефектоскопов ВД-211.5

Дефектоскоп вихретоковый автоматизированный ВД-211.5 для неразрушающего контроля (НК) роликов подшипника №2726 серийно выпускается с 1999г.

За время эксплуатации специалистами отмечено следующее:

1. Дефектоскоп эксплуатируется многими организациями практически в необслуживаемом режиме.
2. Обучение дефектоскопистов, а также инженеров в области НК работе с данным дефектоскопом, как правило, центрами обучения и сертификации не проводится.

Это приводит в ряде случаев к преждевременному выходу дефектоскопов из строя или к недостоверному контролю.

В работе описаны основные отказы, возникающие при эксплуатации дефектоскопов, и даны рекомендации по их устранению, полезные для эксплуатирующих организаций и специалистов.

Дефектоскоп предназначен для выявления поверхностных дефектов (с раскрытием более 0,002 мм, глубиной более 0,02 мм, длиной более 3 мм) стальных цилиндрических роликов (диаметром 32 мм и длиной 52 мм) из состава подшипников качения № 2726, используемых в буксовых узлах грузовых и пассажирских вагонов.

Дефектоскоп состоит из электромеханического (рис. 1) и электронного блоков.

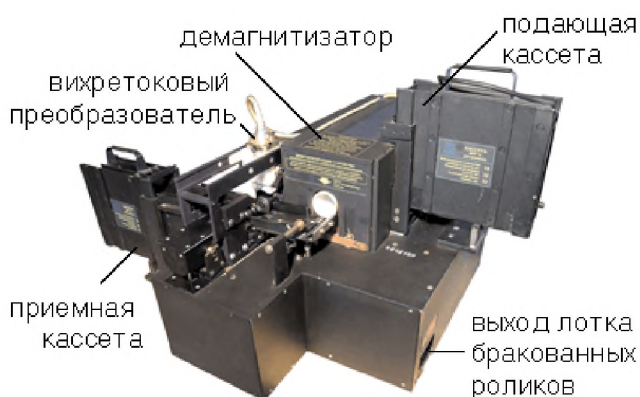


Рис. 1 - Внешний вид электромеханического блока МАР 903 с установленными подающей и приемной кассетами

Работу электромеханического блока можно пояснить с помощью кинематической схемы, изображенной на рис. 2.

Дефектоскоп работает следующим образом. Подающая кассета К1 с роликами, подлежащими проверке, и пустая приемная кассета К2 подстыковываются к направляющим. Под действием веса приемной кассеты срабатывает датчик положения ДП17 при этом автоматически открываются шторки кассет и ролики из подающей кассеты начинают поступать на проверку.

На кинематической схеме показаны ролики в различных позициях: Р1 — на выходе из подающей кассеты, Р2 — на исходной позиции, Р3 — в демагнитизаторе, Р4 — после размагничивания, Р5 — на позиции контроля. После поступления ролика на исходную позицию Р2 по сигналу с датчика ДП18 включается электродвигатель М1. Через понижающий редуктор РП1 и червячную передачу электродвигатель М1 приводит в движение толкатель Т.

Толкатель перемещает ролик в демагнитизатор. Демагнитизатор включается по команде датчика ДП2, вырабатываемой при прохождении флажка Ф1 мимо ДП2. После выхода ролика из демагнитизатора на позицию Р4 сигналом с ДП3 демагнитизатор выключается, подается команда на реверс М1 и толкатель возвращается на исходную позицию, фиксируемую сигналом с ДП1 при прохождении мимо него флажка Ф1. Электромагнит ЭМ1 открывает заслонку, после чего ролик с позиции Р4 поступает на позицию контроля Р5, что фиксируется сигналом датчика ДП4. Затем по команде электронного блока вклю-

чается электромагнит ЭМ4, который прижимом ПР прижимает ролик к приводу вращения П. По команде электронного блока включается электродвигатель М2 и ролик начинает вращаться, что фиксируется сигналом датчика ДП9. Исходное положение ВП фиксируется сигналом, вырабатываемым при нахождении флажка Ф2 напротив датчика ДП5. Затем включается электродвигатель М3 и начинается перемещение ВП. ВП, двигаясь по направляющей, опускается на поверхность ролика.

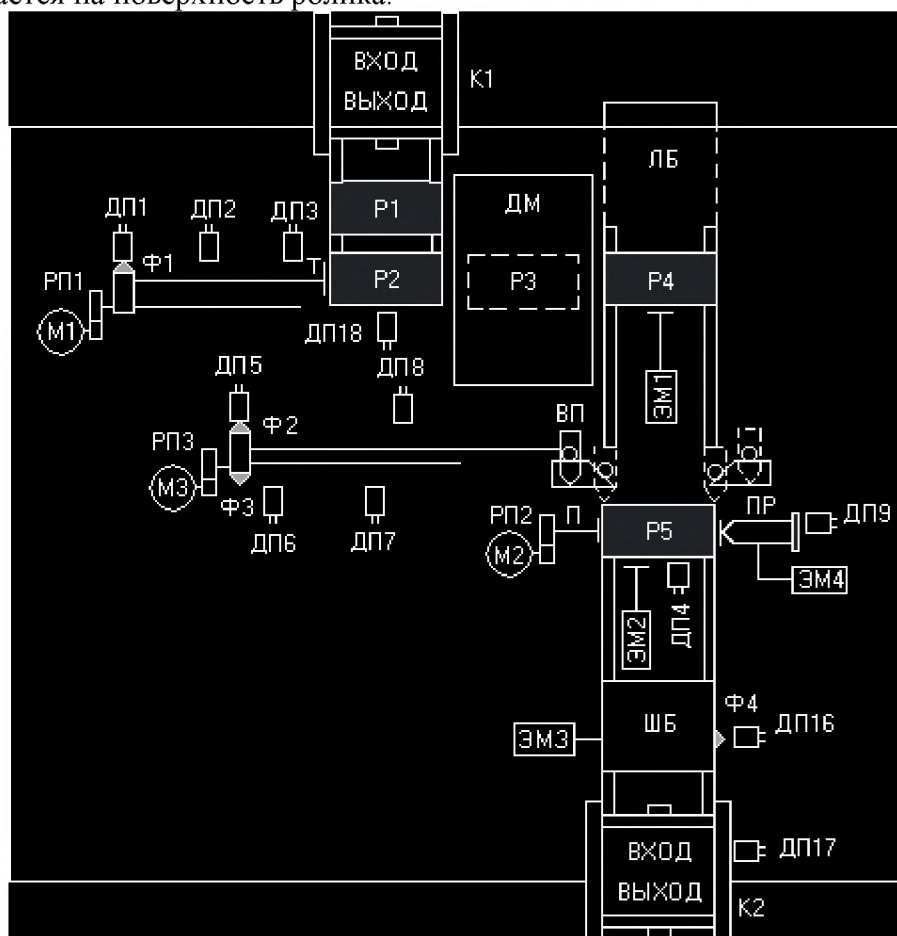


Рис. 2 - Кинематическая схема электромеханического блока

ВП — вихретоковый преобразователь; ДМ — демагнитизатор; ДП1 — датчик исходного положения толкателя ролика; ДП2 — датчик включения демагнитизатора; ДП3 — датчик выключения демагнитизатора, ДП4 — датчик наличия ролика на позиции контроля; ДП5, ДП6, ДП7, ДП8 — датчики положений ВП; ДП9 — датчик вращения ролика; ДП16 — датчик положения шторки брака; ДП17 — датчик наличия приемной кассеты; ДП18 — датчик наличия ролика на исходной позиции; К1 — подающая кассета; К2 — приемная кассета; ЛБ — лоток удаления забракованных роликов; М1 — электродвигатель привода толкателя ролика; М2 — электродвигатель привода вращения ролика; М3 — электродвигатель привода перемещения ВП; П — привод вращения ролика; ПР — прижим ролика к приводу вращения; РП1, РП2, РП3 — редукторы приводов толкателя ролика, вращения ролика, перемещения ВП; Р1, ..., Р5 — ролики в разных позициях; Ф1 — флажок толкателя ролика; Ф2 — флажок положений ВП; Ф3 — флажок начала и конца контроля; Ф4 — флажок шторки брака; ШБ — шторка брака; ЭМ1 — электромагнит подачи ролика на контроль, ЭМ4 — электромагнит прижима ролика к приводу, ЭМ3 — электромагнит открывания шторки брака, ЭМ2 — электромагнит вывода ролика из позиции контроля.

При прохождении флажка Ф3 мимо датчика ДП6 начинается контроль ролика. Когда ВП переместится до правого края ролика, а флажок Ф3 — до датчика ДП7, контроль прекращается. ВП поднимается по направляющей и занимает конечное положение, фиксируемое при прохождении флажка Ф2 мимо датчика ДП8, после чего электродвигатель М3 выключается. Если в процессе проверки ролик признан годным, по команде электрон-

ного блока включается электромагнит ЭМ2 и толкатель выбрасывает ролик в приемную кассету. Если ролик забракован, электромагнит ЭМ3 открывает шторку брака ШБ и ролик поступает в лоток брака ЛБ. Процесс будет повторяться, пока не будут проверены все ролики.

Отказы дефектоскопа, вызываемые как невыполнением требований руководства по эксплуатации (РЭ) и несанкционированным вмешательством в настройки дефектоскопа (т.е. «человеческим фактором»), так и износом деталей, в частности, из-за эксплуатации в необслуживаемом режиме:

Основные типы отказов дефектоскопа:

1. Случайное отключение питания демагнитизатора — переключение движка автомата защиты в положение 0, показанное на рис. 3 (невыполнение п.п. 6.3.1 и 6.3.6 документа «Дефектоскоп вихретоковый автоматизированный ВД-211.5 руководство по эксплуатации МКИЯ,427672.011 РЭ») приводит к повышенной браковке роликов, так как дефектоскоп не может автоматически отличить неравномерность намагничивания контролируемой поверхности роликов от дефекта.



Рис. 3 - Автомат защиты демагнитизатора (в положении 0 – отключено)

2. Нарушение зазора между вихретоковым преобразователем (ВП) (рис. 4) и контролируемым роликом, возникающее при попытке самостоятельного регулирования чувствительности приводит, как правило, к изменению характеристик дефектоскопа и недопустимому увеличению или уменьшению числа забракованных роликов, то есть к недовольной работе дефектоскопа.

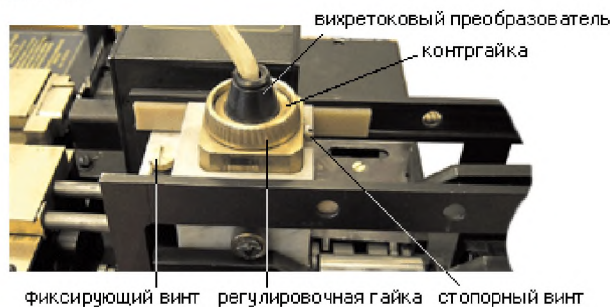


Рис. 4 - Узел вихретокового преобразователя

При проведении регламентных работ с узлом (ВП) запрещается ослаблять стопорный винт и контргайку, а также вращать регулировочную гайку. Допускается ослаблять фиксирующий винт для проведения чистки рабочей поверхности ВП (поверхности обращенной к ролику).

3. Выход из строя датчиков положения (рис. 5), связанный с загрязнением или отказом щелевых оптрона приводит к неисправностям, указанным в разделе 9 РЭ.

4. Невыполнение профилактических работ по техническому обслуживанию дефектоскопа приводит к отказам и преждевременному износу конструкции и выходу дефектоскопа из строя. В частности, отсутствие смазки на штангах механизмов перемещения (рис. 5) и выталкивания ролика, на ходовых винтах может привести к ОТКАЗАМ 3, 4, 5 (см. таблицу 9.1 РЭ).

5. Отказы, связанные с износом опорных катков или «налипанием» стружки на их поверхности, (рис.6) приводящие к вибрации (кабрированию) ролика на позиции контроля и к повышению процента браковки.

6. Отказы, связанные с износом резиновых фрикционов (рис. 6) также могут приводить к повышенным вибрациям ролика на позиции контроля и к повышению процента браковки.

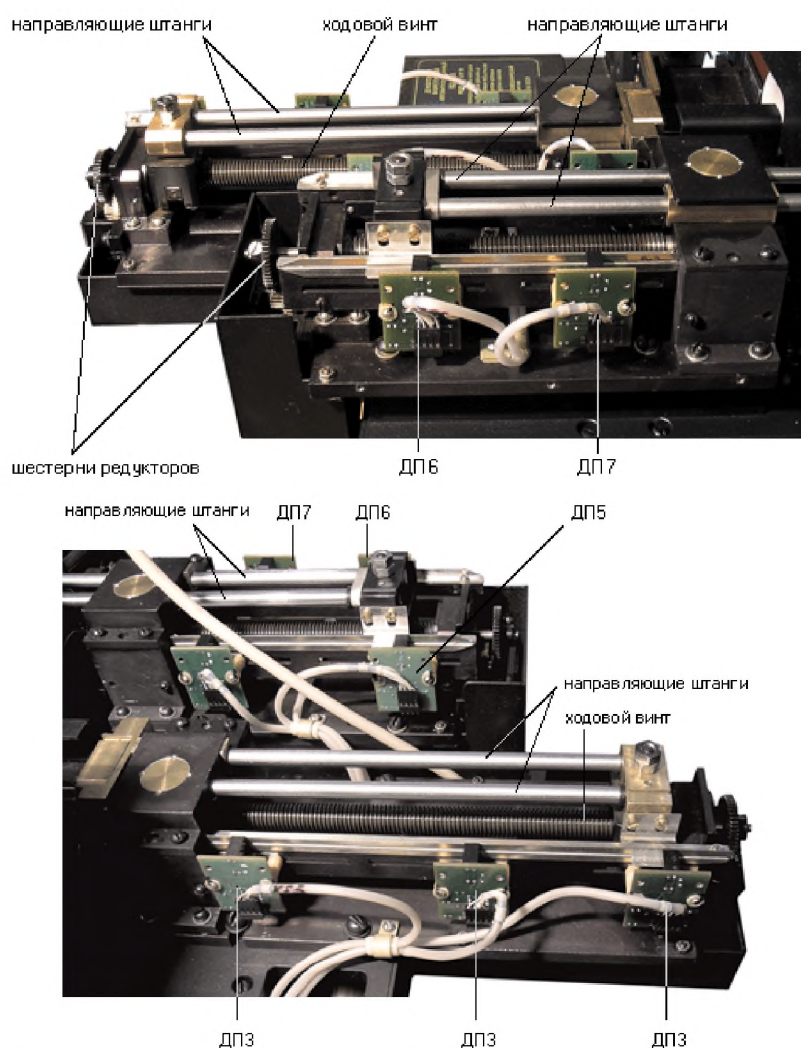


Рис. 5 - Расположение механизмов перемещения и датчиков положения ДП1—ДП8 (вид слева и справа)

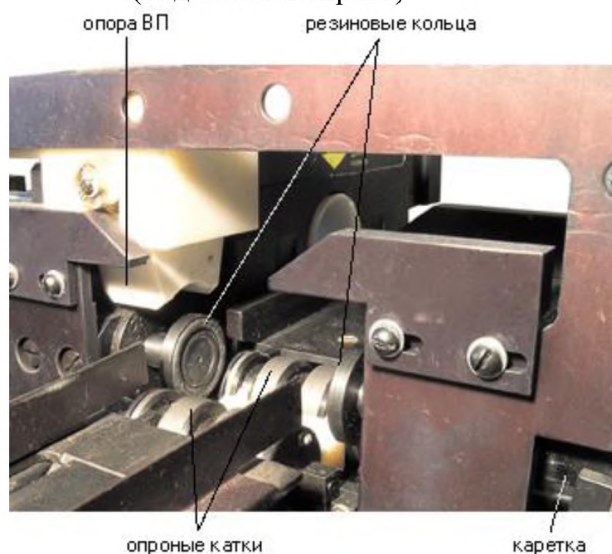


Рис. 6 - Вид на опорные катки и резиновые фрикционы

Методика выполнения регламентных работ:

1. Для проведения регламентных работ выключить питание дефектоскопа, снять защитные кожухи и боковые стенки с электромеханического блока МАР 903.
2. Чистку поверхностей тракта перемещения роликов, жёлоба демагнитизатора, опорных катков проводить ветошью, смоченной спиртобензиновой смесью. Спиртобензиновая смесь готовится из спирта этилового ректификованного и бензина-растворителя БР-1 (Галоша), смешанных в пропорции 1:1. Опорные катки при чистке проворачивать вручную. Для осмотра опоры ВП использовать небольшое зеркало, уложенное на опорные катки (рис. 6). Перед проведением осмотра необходимо вывернуть фиксирующий винт из тяги (рис. 4), извлечь резиновые амортизаторы из паза узла ВП, затем переместить узел ВП на позицию контроля. Поднять ВП за регулировочную гайку и осмотреть гнездо опоры ВП с помощью зеркала. В случае налипания на внутренние края гнезда металлической пыли и смазочных материалов провести чистку гнезда с помощью ветоши и спиртобензиновой смеси. После завершения чистки установить резиновые амортизаторы в паз узла ВП и ввернуть сквозь них фиксирующий винт в тягу
3. До проведения чистки деталей, перечисленных в п. 2 табл. 1, необходимо подключить под ходовые винты и шестерни редукторов салфетки из ветоши. Затем с помощью кисти флейцевой №10—№12 и спиртобензиновой смеси провести чистку деталей. В процессе чистки шестерни редукторов проворачивать вручную. После удаления следов старой смазки просушить детали механизмов перемещения, затем смазать их тонким слоем жидкого смазочного масла. В завершение операции чистки и смазки извлечь загрязненные обтирочные салфетки из полостей электромеханического блока.
4. Чистку резиновых фрикционов проводить ветошью, смоченной небольшим количеством спиртобензиновой смеси.

В случае повреждения или износа резиновых фрикционов провести их замену для чего:

- с помощью тонкой отвертки или скальпеля извлечь из паза прижима поврежденное резиновое кольцо;
- установить в паз прижима новое кольцо соответствующего диаметра, вдавив его в паз по всей окружности.

5. Места сочленений тяг электромагнитов с осями, штанги подъема роликов (рис. 7) , а также трущиеся поверхности каретки прижима смазать тонким слоем жидкого смазочного масла.

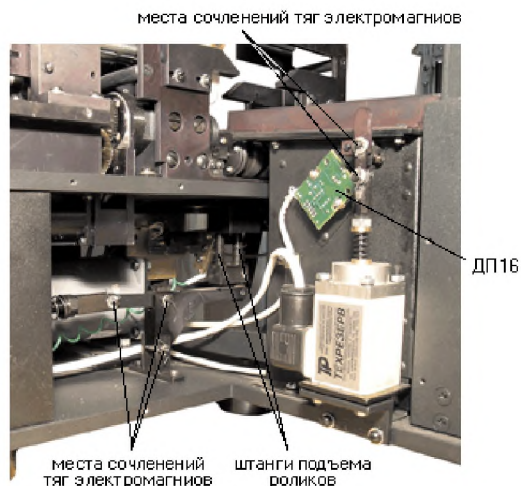


Рис. 7 - Расположение тяг электромагнитов и штанг подъема роликов

6. Чистку щелевых оптронов датчиков положения проводить с помощью тонкой волосяной кисти типа «Пони» № 2 и спиртобензиновой смеси. Данную операцию проводить в случае возникновения отказов, указанных в табл. 9.1 РЭ как ОТКАЗ 1—ОТКАЗ 5, ОТКАЗ ДПХ, а также при работе дефектоскопа в запыленных помещениях. При чистке не допускается приложение механических усилий к элементам расположенным в щелевом зазоре. Флажок из щелевого зазора должен быть предварительно выведен, поворотом вручную зубчатого колеса редуктора.

7. Если чистка оптрона датчика положения не приводит к устранению отказа дефектоскопа, датчик положения необходимо заменить, выполнив следующие операции (рис. 8):

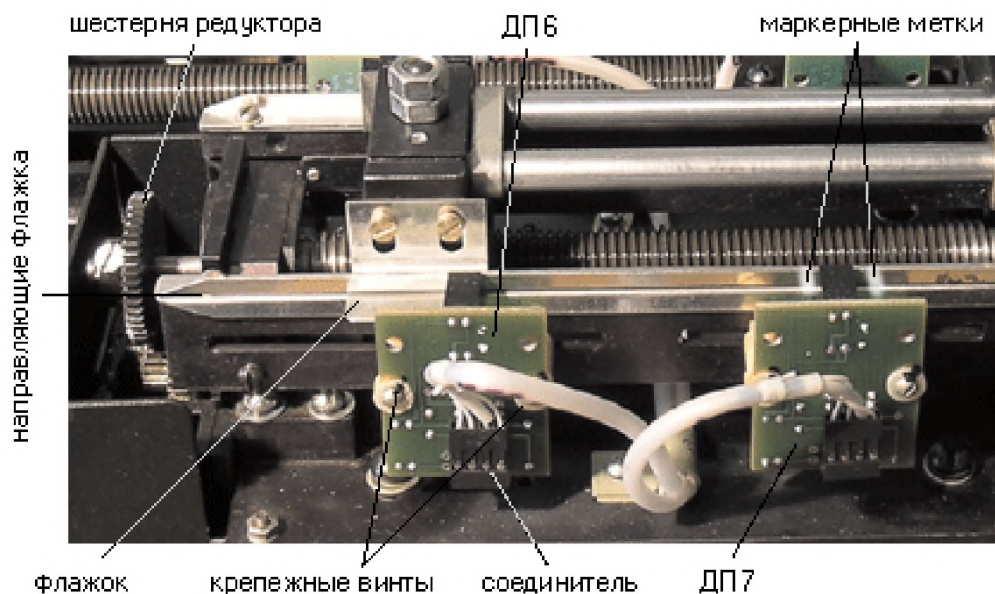


Рис. 8 - Вид на платы ДП и элементы их крепления

- при необходимости вручную вращать шестерню редуктора до тех пор пока флажок не сместится, обеспечив доступ к элементам крепления платы датчика положения;
- на направляющей флажка отметить маркером положение оптрона неисправного датчика положения;
- отключить соединитель жгута от платы датчика положения;
- придерживая изнутри крепежную планку (на рис. 8 не видна) отвинтить крепежные винты и снять плату датчика положения; V>
- из комплекта ЗИП установить новую плату, совмещая края оптрона с метками на направляющей. Зафиксировать плату крепежными винтами. Вращая шестерню редуктора проверить прохождение флажка через щель оптрона, сдвигая при необходимости плату по вертикали;
- окончательно зафиксировать плату крепежными винтами, подключить соединитель к плате.

В случае невозможности восстановления работоспособности дефектоскопа путем проведения регламентных работ дефектоскоп должен подвергаться ремонту на предприятии-изготовителе.

УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ

1. Основная литература

1. Носов В.В. Диагностика машин и оборудования: Учебное пособие 2016, 2-е изд. Испр и доп, «Лань», СПб, - 376 с. <https://lanbook.com/catalog/mashinostroenie/diagnostika-mashin-i-oborudovaniya-72902234/> //
2. Носов В.В. Механика композиционных материалов. Лабораторные работы и практические занятия: Учебное пособие. Изд-во «Лань», СПб, 2013, 2-е изд. перераб. и доп., 240 с.: ил. <https://lanbook.com/catalog/inzhenerno-tehnicheskie-nauki/mehnika-kompozicionnyh-materialov-laboratornye-raboty-i-prakticheskie-zanyatiya-60945806/>
3. Носов В.В., Матвиев И.В. Механика неоднородных материалов. Учебное пособие. Изд-во «Лань», СПб, 2017, 2-е изд. испр. и доп., 276 с. <https://lanbook.com/catalog/mashinostroenie/mehnika-neodnorodnyh-materialov-72893571/>
4. Носов В.В., Ямилова А.Р. Метод акустической эмиссии. Учебное пособие. Изд-во «Лань», СПб, 2017, 304 с. <https://lanbook.com/catalog/mashinostroenie/metod-akusticheskoy-emissii-72893573/>
5. Носов В.В. Принципы оптимизации технологий акустико-эмиссионного контроля прочности промышленных объектов // Дефектоскопия, № 7, 2016, с. 52-67

2. Дополнительная литература

1. Физические основы акустического контроля: Учебно- методический комплекс / Санкт-Петербургский горный университет. Сост.: А.И. Потапов, В.В. Носов. СПб, 2016. 151 с. <http://old.spmi.ru/system/files/lib/uch/metodichki/2016-205.pdf>
2. Объекты и технологии акустико-эмиссионного контроля и диагностики: Учебно-методический комплекс/, Санкт-Петербургский горный университет, Сост. В.В.Носов СПб, 2018, 148 с. http://irbis.spmi.ru/jirbis2/index.php?option=com_irbis&view=irbis&Itemid=374&task=set_statistic_req&bnstring=NWPIB,ELC,ZAPIS&req_irb=<.>I=6%D0%9F5%2E2%2F%D0%9E%2D29%2D069024892<.>
3. Носов В. В., Матвиев И. В., Ямилова А. В., Зеленский Н. А., Оценка состояния технических объектов на основе моделирования прочностной неоднородности материала / Моделирование, оптимизация и информационные технологии, № 3, Т 21, 2016. С 1 - 20. <https://moit.vivt.ru/?cat=2357&lang=ru>
4. Способ оценки прочности элементов сварного корпуса подводного аппарата: Пат. 2617195 РФ, МПК(51) G01N 29/14 (2006.01)/ - Опубликовано. 21.04.2017. Бюл. № 12 <http://www.findpatent.ru/patent/261/2617195.html>
5. Носов В.В., Самигуллин Г.Х., Ямилова А.Р., Зеленский Н.А. Микромеханическая модель акустической эмиссии как методологическая основа прогнозирования разрушения сварных соединений// Нефтегазовое дело, 2016, т.14, № 1, С. 244-253 <http://ngdelo.ru/files/ngdelo/2016/1/ngdelo-1-2016-p244-253.pdf>
6. Носов В.В., Ямилова А.Р., Зеленский Н.А., Матвиев И.В. Оптимизация акустико-эмиссионного контроля прочности сварных соединений// Вестник МЭИ, 2017, № 2. С. 96-101. <http://vestnik.mpei.ru/vestnik/archive/article/472/>
7. Носов В.В., Ямилова А.Р., Зеленский Н.А., Матвиев И.В. Методика неразрушающего акустико-эмиссионного контроля прочности сварных соединений// Вестник МЭИ, 2017, № 3. С. 92-101 <http://vestnik.mpei.ru/vestnik/archive/article/487/>
8. Носов В.В., Номинас С.В., Зеленский Н.А. Оценка прочности сосудов давления на основе использования явления акустической эмиссии// Научно-технические ведомости Санкт-Петербургского государственного политехнического университета. 2(219)' 2015. С. 182-190/ https://engtech.spbstu.ru/userfiles/files/articles/2015/2/20_nosov.pdf

9. Носов В.В. Оценка удароопасности участка массива горных пород по результа-там регистрации его сейсмоакустической активности// Записки Горного Института. 2015 г, Том 216, с. 62-75. <http://pmi-old.spmi.ru/sites/default/files/pdfarticle/62-75.pdf>
10. Носов В.В. Контроль прочности неоднородных материалов методом акустиче-ской эмиссии// Записки Горного института. 2017. Т. 226. С. 469-479 <https://cyberleninka.ru/article/v/kontrol-prochnosti-neodnorodnyh-materialov-metodom-akusticheskoy-emissii>
11. Носов В.В., Махмудов Х.Ф. Связь акустической эмиссии упруго нагружен-ных заготовок и качества проката из них // Вестник Тамбовского университета. Серия Естественные и технические науки.2016, т.21, № 3. С. 1195-1198. http://www.docme.ru/doc/1641137/svyaz._-akusticheskoy-e-missii-uprugogo-nagruzhennyh-zagotovok-i..
12. Носов В.В. Акустико-эмиссионная диагностика качества металлургического сля-ба на основе моделирования процесса разрушения и пластической перестройки струк-туры материала/ XXIII Петербургские чтения по проблемам прочности, посвященной 100-летию ФТИ им. А.Ф. Иоффе и 110-летию со дня рождения чл.-кор. АН СССР А.В. Степа-нова, Санкт-Петербург, Россия, 10-12 апреля 2018 г. Санкт-Петербург. [http://nanomat.spbu.ru/sites/default/files/Programma%20chteniy%20\(proekt\).pdf](http://nanomat.spbu.ru/sites/default/files/Programma%20chteniy%20(proekt).pdf)
13. ПБ 03-593-03 Правила организации и проведения акустико-эмиссионного контроля сосудов, аппаратов и технологических трубопроводов. Основной документ, ре-гламентирующий общие положения проведения АЭ контроля в промышленности. Распро-страняется практически на все виды оборудования. Утвержден Ростехнадзором и является основой всех отраслевых методических документов по АЭ-контролю. <https://mooml.com/d/normativnye-dokumenty-po-nadzoru-v-oblasti-stroitelstva/normativnye-dokumenty-po-gortekhnadzoru/14894/>
14. ГОСТ Р 55045-2012. Техническая диагностика. Акустико-эмиссионная диа-гностика. Термины, определения и обозначения. <http://docs.cntd.ru/document/1200096172>
15. Nosov V.V. Bump hazard evaluation of a rock mass area as a result of its seismic acoustical activity registration/ Journal of Mining Institute. 2015. Vol. 216. P. 62-76 (Оценка уда-роопасности участка массива горных пород по результатам регистрации его сейсмоаку-стической активности)
16. Nosov V.V. Control of inhomogeneous materials strength by method of acoustic emission /Journal of Mining Institute. 2017. Vol. 226. P. 469-479 (Контроль прочности неод-нородных материалов методом акустической эмиссии)

3. Базы данных, электронно-библиотечные системы, информационно-справочные и поисковые системы

1. Европейская цифровая библиотека Europeana: <http://www.europeana.eu/portal>
2. Информационно-издательский центр по геологии и недропользованию Мини-стерства природных ресурсов и экологии Российской Федерации - ООО "ГЕОИН-ФОРММАРК" - <http://www.geoinform.ru/>
3. Информационно-аналитический центр «Минерал» - <http://www.mineral.ru/>
4. КонсультантПлюс: справочно-поисковая система [Электронный ресурс]. - www.consultant.ru/.
5. Мировая цифровая библиотека: <http://wdl.org/ru>
6. Научная электронная библиотека «Scopus» <https://www.scopus.com>
7. Научная электронная библиотека ScienceDirect: <http://www.sciencedirect.com>
8. Научная электронная библиотека «eLIBRARY»: <https://elibrary.ru/>
<https://e.lanbook.com/books>.
9. Поисковые системы Yandex, Rambler, Yahoo и др.
10. Система ГАРАНТ: электронный периодический справочник [Электронный ре-сурс] www.garant.ru/.

11. Электронно-библиотечная система издательского центра «Лань»
<https://e.lanbook.com/books>
12. Электронная библиотека Российской Государственной Библиотеки (РГБ):
<http://elibrary.rsl.ru/>
13. Электронная библиотека учебников: <http://studentam.net>
14. Электронно-библиотечная система «ЭБС ЮРАЙТ» www.biblio-online.ru.
15. Электронная библиотечная система «Национальный цифровой ресурс «Руконт»». <http://rucont.ru/>
16. Электронно-библиотечная система <http://www.sciteclibrary.ru/>

4. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студента

1. Физические основы акустического контроля: Учебно- методический комплекс / Санкт-Петербургский горный университет. Сост.: А.И. Потапов, В.В. Носов. СПб, 2016. 151 с. <http://old.spmi.ru/system/files/lib/uch/metodichki/2016-205.pdf>
2. Носов В.В. Диагностика машин и оборудования: Учебное пособие 2016, 2-е изд. Испр и доп, «Лань», СПб, - 376 с.
<https://lanbook.com/catalog/mashinostroenie/diagnostika-mashin-i-oborudovaniya-72902234/> //
3. Носов В.В. Механика композиционных материалов. Лабораторные работы и практические занятия: Учебное пособие. Изд-во «Лань», СПб, 2013, 2-е изд. перераб. и доп., 240 с.: ил. <https://lanbook.com/catalog/inzhenerno-tehnicheskie-nauki/mehanika-kompozicionnyh-materialov-laboratornye-raboty-i-prakticheskie-zanyatiya-60945806/>
4. Носов В.В., Матвиев И.В. Механика неоднородных материалов. Учебное пособие. Изд-во «Лань», СПб, 2017, 2-е изд. испр. и доп. , 276 с
<https://lanbook.com/catalog/mashinostroenie/mehanika-neodnorodnyh-materialov-72893571/>
5. Носов В.В, Ямилова А.Р. Метод акустической эмиссии. Учебное пособие. Изд-во «Лань», СПб, 2017, 304 с. <https://lanbook.com/catalog/mashinostroenie/metod-akusticheskoy-emissii-72893573///>