

**Министерство науки и высшего образования РФ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Национальный исследовательский университет «МЭИ»**

«УТВЕРЖДАЮ»

Проректор по научной работе

д.т.н. проф.



В.К. Драгунов
Драгунов В.К.

«*27*» *сентября* 2022 г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА
Специальной дисциплины**

**Специальность 2.2.8. Методы и приборы контроля и диагностики
материалов, изделий, веществ и природной среды**

Москва 2022

Программа составлена на основе паспорта специальности научных работников и программы-минимум кандидатского экзамена по специальности «Методы и приборы контроля и диагностики материалов, изделий, веществ и природной среды» в действующей редакции и в соответствии с Положением о подготовке научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре (адъюнктуре), утвержденным постановлением Правительства Российской Федерации от 30 ноября 2021 г. № 2122.

ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Целью дисциплины является изучение методов контроля и диагностики различных материалов, изделий, веществ и природной среды, а также приборов на базе этих методов.

Задачами дисциплины являются:

- дать научное обоснование новых и усовершенствование существующих методов неразрушающего контроля и диагностики материалов, веществ, изделий, а также природной среды;
- научить методам расчета и проектирования элементов, средств, приборов и систем диагностики и контроля с учетом особенностей объектов контроля;
- научить приемам разработки, испытания и внедрения средств и систем контроля веществ, материалов и изделий, имеющих лучшие характеристики по сравнению с прототипами;
- научить методам разработки методического, технического и информационного обеспечения для локальных, региональных и глобальных систем мониторинга природных и техногенных объектов;
- научить создавать метрологическое обеспечение приборов и средств контроля природной среды, веществ, материалов и изделий, оптимизация метрологических характеристик приборов;
- научить разрабатывать алгоритмическое и программно-техническое обеспечение процессов обработки информативных сигналов и представление результатов в приборах и средствах контроля, в том числе для автоматизации приборов контроля;
- научить методам повышения информационной и метрологической надежности приборов и средств контроля в процессе эксплуатации, диагностики приборов контроля.

МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ПРОГРАММЫ АСПИРАНТУРЫ

Специальная дисциплина в структуре программы аспирантуры входит в Блок 2 «Образовательный компонент. Общая трудоемкость составляет 7 зачетных единиц (з.е.).

Области исследований

1. Научное обоснование новых и совершенствование существующих методов, аппаратных средств и технологий контроля, диагностики материалов, изделий, веществ и природной среды, способствующее повышению надёжности изделий и экологической безопасности окружающей среды.

2. Разработка методологий прогнозирования работоспособности и остаточного ресурса изделий, направляющих оптимизацию методов, приборов, систем контроля и диагностирования изделий, повышение надёжности изделий и экологической безопасности окружающей среды.

3. Разработка, внедрение, испытания методов и приборов контроля, диагностики материалов, изделий, веществ и природной среды, способствующих повышению надёжности изделий и экологической безопасности окружающей среды.

4. Разработка методического, математического, программного, технического, приборного обеспечения для систем технического контроля и диагностирования материалов, изделий, веществ и природной среды, экологического мониторинга природных и техногенных объектов, способствующих увеличению эксплуатационного ресурса изделий и повышению экологической безопасности окружающей среды.

5. Разработка метрологического обеспечения методов и метрологических характеристик приборов контроля и диагностики материалов, изделий, веществ и природной среды, способствующих увеличению достоверности оценки эксплуатационного ресурса изделий и повышения уровня экологической безопасности окружающей среды.

6. Разработка математических моделей, алгоритмического и программно-технического обеспечения обработки результатов регистрации сигналов в приборах и средствах контроля и диагностики с целью автоматизации контроля и диагностики, подготовки их для внедрения в цифровые информационные технологии.

7. Автоматизация технологий, приборов контроля и средств диагностирования, способствующая снижению трудоёмкости, увеличению оперативности и достоверности оценки эксплуатационного ресурса изделий, повышению уровня экологической безопасности окружающей среды. 8. Научное обоснование методов повышения надёжности приборов, средств контроля и диагностирования в процессе проектирования, изготовления и эксплуатации на основе интеллектуального анализа данных.

Отрасль науки

– технические науки.

Введение

В основу настоящей программы положены следующие дисциплины: электротехника и электроника, метрология, физические основы получения информации, цифровая обработка сигналов, численные модели в интроскопии, магнитные методы контроля, акустика в интроскопии, вихретоковый контроль, тепловые и оптические методы контроля, радиационный контроль.

Общая часть

Методы анализа электрических и магнитных цепей. Методы измерения напряжений, токов, сопротивлений, емкостей, индуктивностей, частоты и фазы. Основные функциональные узлы электронных средств измерения. Электронные измерительные приборы, их общие свойства и технические характеристики. Электронные вольтметры: частотомеры, фазометры, измерительные генераторы, осциллографы. Погрешности измерений и обработка результатов измерений. Вероятностные оценки погрешности результата измерений.

Уравнения Максвелла в интегральной и дифференциальной форме. Методы анализа электромагнитных полей. Электромагнитное поле и поверхностный эффект. Методы конечных элементов и интегральных уравнений при анализе электромагнитных полей. Вариационный принцип и его реализация в методе конечных элементов. Метод конечных элементов в двумерной и трехмерной постановке. Статические, стационарные и квазистационарные задачи электромагнитного поля для скалярного и векторного потенциала. Осесимметричные и нелинейные задачи электромагнитного контроля.

Обработка цифровых сигналов и изображений

Элементы теории сигналов. Представление сигналов в цифровой форме. Дискретизация по времени. Теорема Котельникова. Квантование по уровню. Базовые аспекты цифровой обработки сигналов. Линейная система преобразования цифрового сигнала (процессор, оператор, фильтр), представление в виде дифференциального (разностного) уравнения, блокдиаграммы. Свойства линейных систем. Операция линейной цифровой свертки. Импульсный отклик процессора, реакция на ступенчатую функцию – возмущение. Z-преобразование. Основные свойства преобразования. Нули и полюса цифрового сигнала и передаточной функции процессора. Синтез простейших фильтров. Геометрическая интерпретация спектральной характеристики фильтра. Определение положения нулей и полюсов передаточной функции фильтра с заданными свойствами. Проектирование КИХ фильтров с помощью преобразования Фурье. Определение передаточной функции. Применение операции усечения с помощью окон. Выбор функции окна. Спектральные свойства окон. БИХ фильтры. Проектирование цифровых фильтров Баттерворта и Чебышева методом билинейного z-преобразования. Дифференцирование и интегрирование цифровых сигналов. Передаточная функция идеального дифференциатора. Цифровые интеграторы 0-го, 1-го и 2-

го порядков, сопоставление их спектральных характеристик. Дискретное преобразование Фурье (ДПФ). Различие рядов Фурье, непрерывного и дискретного преобразований Фурье. Свойства ДПФ, расчет спектральных коэффициентов.

Вихрековые и магнитные методы неразрушающего контроля

Основные физические принципы и общая характеристика электромагнитных методов НК. Физические основы метода вихревых токов. Разновидности преобразователей, их конструкция, область применения. Уравнения Максвелла.

Годографы для основных типов преобразователей. Анализ влияния электропроводности, магнитной проницаемости и зазора преобразователь - изделие с помощью годографа. Способы разделения информации: амплитудный, фазовый, амплитудно-фазовый, переменного-частотный. Факторы, мешающие контролю; способы отстройки от них. Понятие о многочастотном и импульсном способах возбуждения преобразователя, влияние движения изделий. Метод высшей гармоник. Структурные схемы приборов, реализующих различные способы разделения параметров. Электромагнитные дефектоскопы, толщиномеры, приборы контроля физико-химических свойств материалов. Область применения.

Классификация вихрековых преобразователей. Основные уравнения электромагнитного поля в линейной и нелинейной электропроводящих средах. Граничные условия. Связь сигналов проходных ВТП с параметрами круговых цилиндров и труб. Связь сигналов накладных ВТП с параметрами электропроводящего листа, методы контроля ферромагнитных материалов. Основные способы отстройки от мешающих параметров и выделения информации о контролируемых параметрах при электромагнитном неразрушающем контроле. Магнитные методы, основные задачи магнитного контроля. Основные магнитные величины (магнитная индукция, напряженность магнитного поля, магнитный поток, намагниченность, магнитная проницаемость). Намагничивание ферромагнетиков. Методы определения магнитных характеристик. Кривая намагничивания, петли гистерезиса, частные циклы. Использование в магнитном контроле связи магнитных характеристик ферромагнитных объектов с их физико-химическими и механическими свойствами. Классификация магнитных методов. Способы получения первичной информации в магнитном контроле. Индукционные, феррозондовые, полупроводниковые, магнитооптические преобразователи. Магнитные ленты и магнитные порошки. Методы и средства намагничивания объектов контроля. Циркулярное, продольное и комбинированное намагничивание. Особенности намагничивания в постоянном, переменном и импульсном магнитных полях. Размагничивание объектов контроля. Магнитная дефектоскопия. Требования к поверхности контролируемых изделий. Выявление дефектов при продольном и циркулярном намагничивании. Способы контроля в приложенном поле и при остаточной намагниченности. Способы нанесения магнитного индикатора.

Осмотр деталей. Мешающие факторы при контроле сварных соединений. Контроль деталей сложной формы. Условные уровни чувствительности. Измерение напряженности магнитного поля на поверхности контролируемой детали. Аппаратура для магнитопорошкового контроля. Определение режима контроля способом остаточной намагниченности. Методы проверки качества магнитных порошков и суспензий. Магнитографический метод дефектоскопии. Технология контроля. Размагничивание лент и деталей. Влияние ориентации дефектов. Магнитная толщинометрия. Принцип измерения толщины ферромагнитных листов и толщины немагнитных покрытий на ферромагнитных основаниях. Основные мешающие факторы. Магнитная структуроскопия. Коэрцитиметры с приставным магнитом. Структуроскопия по остаточной намагниченности. Импульсный магнитный анализатор. Основные мешающие факторы. Магнитный метод контроля стальных канатов. Способ создания возбуждающего поля и получения информации. Оценка результатов контроля. Магнитный метод контроля трубопроводов. Способы намагничивания и снятия информации.

Акустические методы

Упругие свойства твердых тел. Диаграмма деформация – напряжение. Упругие и пластические деформации. Волновое уравнение. Величины, характеризующие акустическое поле. Плоские, цилиндрические и сферические волны. Характеристический импеданс среды. Скорость распространения и затухание волн. Поглощение и рассеяние как составляющие затухания. Упругие волны в ограниченных средах. Дисперсия скорости. Распространение импульсов в дисперсных средах. Методы возбуждения и приема. Отражение, преломление и трансформация волн по границе раздела двух сред. Прохождение волн через слоистые структуры. Основные виды ультразвуковых (УЗ) преобразователей (ПЭП). Пьезоэлектрические материалы и их характеристики. Резонансные и антирезонансные частоты. Демпфирование ПЭП. Коэффициенты преобразования при излучении и приеме. Направленность. Диаграммы направленности при излучении. Фокусировка ультразвука. УЗ эхо-метод и его основные характеристики; чувствительность, лучевая и фронтальная разрешающая способность, мертвая зона. Возможности метода и ограничения его применения. Узлы эхо-дефектоскопов. Системы индикации (виды разверток), их достоинства и недостатки. Схемы выравнивания чувствительности. Основные формы импульсов, применяемых в акустической аппаратуре. Влияние отдельных звеньев электроакустического тракта на форму сигналов. УЗ импульсные толщинометры. Методы уменьшения погрешностей. УЗ резонансные дефектоскопы-толщинометры. УЗ теневые дефектоскопы. Приборы для контроля физико-механических свойств материалов. Низкочастотные средства контроля многослойных конструкций и изделий из неметаллов. Импакт эхо-метод. Структурные схемы дефектоскопов, использующих эти методы. Преобразователи УЗ дефектоскопов (совмещенные, раздельносовмещенные, раздельные). Низкочастотные преобразователи. Электромагнитно-акустические преобразователи. Помехи и

борьба с ними. Методы повышения помехоустойчивости ультразвуковой аппаратуры. Структурные шумы, их природа и пути уменьшения. Способы увеличения отношения сигнала к шуму. Механизация и автоматизация ультразвукового контроля. УЗ фазированные антенные решетки. Принципы акустической томографии, область ее применения. Физические основы акустико-эмиссионного (АЭ) метода контроля. Источники АЭ при пластической деформации и при зарождении трещин. Дискретная и непрерывная АЭ. Характеристики импульсов АЭ – амплитуда, длительность, частотный спектр, суммарная АЭ, скорость счета АЭ. Эффект Кайзера. Технические средства АЭ, основные характеристики. Классификация источников АЭ.

Радиационные методы

Физические основы взаимодействия ионизирующих излучений с веществом. Строение атома. Природа ионизирующего излучения. Характеристики ионизирующих излучений и параметры их взаимодействия с веществом. Качественные характеристики рентгеновского и гаммаизлучения. Взаимодействие электронного излучения и альфа-частиц с веществом. Взаимодействие нейтронного излучения с веществом. Источники ионизирующего излучения, используемые в радиационном неразрушающем контроле. Рентгеновские аппараты. (стационарные, переносные моноблочные) Рентгеновские трубки. Генераторы. Рекомендации по эксплуатации рентгеновских аппаратов. Регистрация проникающих излучений. Физические явления при воздействии ионизирующих излучений. Классификация детекторов. Радиографический метод неразрушающего контроля. Общие характеристики радиационных изображений. Энергетические и спектральные характеристики радиационного изображения. Влияние рассеянного излучения. Выбор параметров контроля. Схемы экспонирования объектов. Расшифровка радиографических снимков. Радиоскопический метод неразрушающего контроля. Общие характеристики радиоскопии. Выбор источников и энергии фотонного излучения при радиоскопии.

Оптический контроль

Особенности оптических методов и их классификация. Взаимодействие электромагнитного излучения оптического диапазона с различными объектами. Законы зрительного восприятия. Информационные параметры систем оптического неразрушающего контроля. Фотометрические, световые, спектральные единицы измерения параметров оптических полей. Основы геометрической оптики. Взаимодействие световых волн с поверхностями различной шероховатости. Модели отражения световых волн от поверхности. Классификация методов по получению полезной информации. Структура автоматизированной системы оптического контроля. Особенности источников оптического излучения. Устройства для формирования излучений требуемой интенсивности, направленности, спектрального состава, поляризации. Вспомогательные устройства, применяемые при оптическом контроле.

Влияние оптической системы на формирование изображения. Передаточные функции элементов оптических систем и системы в целом. Точность измерений при оптическом контроле. Особенности лазерные осветителей для задач контроля. Устройства лазерного сканирования.

Тепловой контроль

Термины и определения. Особенности тепловых методов и их классификация. Виды теплообмена. Законы теплового излучения. Взаимодействие электромагнитного излучения ИК диапазона с различными объектами. Информационные параметры систем теплового неразрушающего контроля. Нагрев газом, током, электромагнитным полем. Применение лазера в непрерывном и импульсном режиме для нагрева объектов. Абсолютно черное тело. Серое тело. Излучение реальных тел – твердых, жидких, газообразных. Прохождение ИК излучения через атмосферу. Термоиндикаторы, термометры, термопары, термосопротивления, полупроводниковые приборы, пироэлектрические преобразователи, болометры и болометрические матрицы. Аппаратура контактного и бесконтактного измерения температуры, достоинства и недостатки различных методов. Достижимая точность измерения температуры. Отстройка от влияния излучательной способности объекта контроля. Схема реализации. Типы тепловизоров. Работа в различных спектральных интервалах ИК излучения. Устройство неохлаждаемого тепловизора с фокальной матрицей. Методы борьбы с шумами бесконтактной ИК аппаратуры, операции коррекции неоднородности. Передаточные функции элементов систем тепловизора и ИК-системы в целом. Точность измерений при бесконтактном тепловом контроле.

Вопросы для самоконтроля:

1. Методы измерения напряжений, токов, сопротивлений, емкостей, индуктивностей, частоты и фазы
2. Погрешности измерений и обработка результатов измерений.
3. Уравнения Максвелла в интегральной и дифференциальной форме.
4. Основные функциональные узлы электронных средств измерения.
5. Представление сигналов в цифровой форме. Дискретизация по времени. Квантование по уровню.
6. Линейная система преобразования цифрового сигнала.
7. Основные физические принципы и общая характеристика электромагнитных методов НК
8. Основные уравнения электромагнитного поля в линейной и нелинейной электропроводящих средах.
9. Основные виды ультразвуковых преобразователей.
10. Связь сигналов проходных ВТП с параметрами круговых цилиндров, трубы, и электропроводящего листа.
11. Методы контроля ферромагнитных материалов

12. Способы отстройки от мешающих параметров и выделения информации о контролируемых параметрах при электромагнитном неразрушающем контроле
13. Магнитные методы, основные задачи магнитного контроля.
14. Методы и средства, намагничивания объектов контроля. Циркулярное, продольное и комбинированное намагничивание.

Вопросы, включенные в билеты для проведения экзамена:

1. Источники ионизирующего излучения, используемые в радиационном неразрушающем контроле.
2. Радиографический метод неразрушающего контроля. Выбор параметров контроля.
3. Расшифровка радиографических снимков.
4. Классификация методов по получению полезной информации.
5. Устройства для формирования излучений требуемой интенсивности, направленности, спектрального состава, поляризации.
6. Аппаратура контактного и бесконтактного измерения температуры.
7. Точность измерений при бесконтактном тепловом контроле.
8. Магнитная структуроскопия.
9. Магнитный метод контроля стальных канатов. Способ создания возбуждающего поля и получения информации.
10. Магнитный метод контроля трубопроводов.
11. Сравнение электромагнитных методов с другими методами НК.
12. Методы оптического контроля.

ПРОМЕЖУТОЧНАЯ АТТЕСТАЦИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

Промежуточная аттестация проводится в форме экзамена.

Требования и критерии оценивания ответов экзамена

В процессе экзамена оценивается уровень научно-исследовательской компетентности аспиранта, что проявляется в квалифицированном представлении результатов обучения.

При определении оценки учитывается грамотность представленных ответов, стиль изложения и общее оформление, способность ответить на поставленный вопрос по существу.

Критерии выставления оценки на экзамене:

Оценка «ОТЛИЧНО» выставляется аспиранту, который показал при ответе на вопросы экзаменационного билета и на дополнительные вопросы, что владеет материалом изученной дисциплины, свободно применяет свои знания для объяснения различных явлений и решения задач.

Оценка «ХОРОШО» выставляется аспиранту, в основном правильно ответившему на вопросы экзаменационного билета и на дополнительные вопросы, но допустившему при этом не принципиальные ошибки.

Оценка «УДОВЛЕТВОРИТЕЛЬНО» выставляется аспиранту, который в ответах на вопросы экзаменационного билета допустил существенные и даже грубые ошибки, но затем исправил их сам

Оценка «НЕУДОВЛЕТВОРИТЕЛЬНО» выставляется аспиранту, который:

- а) не ответил на вопросы экзаменационного билета
- б) при ответе на дополнительные вопросы обнаружил незнание большого раздела экзаменационной программы.

Данные критерии указаны Инструктивном письмом И-23 от 14 мая 2012г

УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Основная литература:

1. Электрические измерения. Под ред. А.В.Фремке. Изд-во "Энергия", Изд. 5-е 1980.
2. Лунин В.П. Метод конечных элементов в задачах прикладной электротехники. - учебное пособие по курсу "Численные модели в интроскопии". - М.: Изд-во МЭИ, 1996, 78 с.
3. Неразрушающий контроль. Справочник в 5 кн. Книга 3. Электромагнитный контроль. В.Г.Герасимов, А.Д.Покровский, В.В.Сухоруков. М.: Высш. шк., 1992, 490 с.
4. Качанов В.К., Карташев В.Г., Соколов И.В., Шалимова Е.В. Методы обработки сигналов в ультразвуковой дефектоскопии. / Учебное пособие для студентов вузов – М.: Издательский дом МЭИ, 2010.
5. Покровский А.Д. Магнитные методы неразрушающего контроля. Учебное пособие. – М.: Издательский дом МЭИ, 2013. – 188с.
6. Вавилов В.П. Инфракрасная термография и тепловой контроль. Издание: 1-е Изд. ООО "Издательский дом "Спектр", 2013 г., 544 с

Дополнительная литература:

7. Баскаков С.И. Радиотехнические цепи и сигналы: Учебник для вузов по специальности "Радиотехника", -М.:, В.Ш., 2000, 536с
8. Неразрушающий контроль. Справочник: В 7 т. Под общ. ред. В.В.Клюева. – М.: Машиностроение, 2003.
9. Алешин Н.П. Ультразвуковой контроль: учебное пособие для вузов по направлениям "Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств", "Автоматизация технологических процессов и производств" Издательский дом "Спектр" Год издания: 2013.
10. Информационные аспекты акустико-эмиссионного контроля: учеб. пособие / В.А. Барат, В.И. Иванов, Д.В. Чернов. – М.: Издательство МЭИ, 2017. – 80 с.

11. Слесарев Д.А. Методы анализа нестационарных диагностических сигналов с использованием времячастотных и времямасштабных представлений: Учебное пособие – М.: Издательство МЭИ, 2004

12. Методы компьютерной обработки изображений // под ред. В.А.Сойфера – М.: Физматлит, 2001

13. В.П.Луниин Современные методы решения обратных задач электромагнитного контроля - Вестник МЭИ. 2003, №1, с.60-66 2003 -3

14. Воронков И.В., Воронкова Л.В., Данилов В.Н. Преобразователи с фазированными решетками. Москва. Издательский дом "Спектр". 2013

Лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение: *(программное обеспечение, на которое кафедра или МЭИ имеет лицензию, а также свободно распространяемое программное обеспечение)*

Интернет-ресурсы, включая профессиональные базы данных и информационные справочные системы:

1. База данных Web of Science <https://apps.webofknowledge.com/>
2. База данных Scopus <https://www.scopus.com>
3. База данных Научной электронной библиотеки eLIBRARY.RU <https://elibrary.ru/>
4. Электронная база данных «Издательство Лань» <https://e.lanbook.com>
5. Федеральная государственная информационная система «Национальная электронная библиотека» <https://нэб.рф>
6. Национальный портал онлайн обучения «Открытое образование» <https://openedu.ru>
7. Официальный сайт Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии <http://protect.gost.ru/>
8. Электронная библиотека МЭИ <https://ntb.mpei.ru/e-library/index.php>.

ПРОГРАММУ СОСТАВИЛ:

Зам. зав. кафедрой
диагностических информационных технологий
докт. техн. наук, доцент

 В.П.Луниин

Заведующий кафедрой
диагностических информационных технологий
докт. техн. наук, профессор

 И.Н.Желбаков

Директор ИВТИ
к.т.н., доцент

 С.В.Вишняков