

ФАНО РОССИИ  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
НАУКИ  
ИНСТИТУТ МАШИНОВЕДЕНИЯ  
УРАЛЬСКОГО ОТДЕЛЕНИЯ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК  
(ИМАШ УрО РАН)

Утверждаю  
Директор ИМАШ УрО РАН  
Э.С. Горкунов  
« 03 » \_\_\_\_\_ 2014 г.

**ПРОГРАММА-МИНИМУМ**

**кандидатского экзамена по специальности для обучающихся по  
направлению подготовки 12.06.01 – Фотоника, приборостроение,  
оптические и биотехнические системы и технологии по направленности  
(профилю) подготовки – Приборы и методы контроля природной среды,  
веществ, материалов и изделий  
(уровень подготовки кадров высшей квалификации)**

## **Введение**

Специальность— «Приборы и методы контроля природной среды, веществ, материалов и изделий» охватывает область науки и техники, занимающуюся созданием научных основ методов аналитического и неразрушающего контроля природной среды, веществ, материалов и изделий, разработкой и внедрением приборов, средств и систем экологического, аналитического и неразрушающего контроля указанных объектов с улучшенными характеристиками.

Значение решения научных и технических проблем данной специальности для народного хозяйства состоит в повышении качества продукции и природной среды, увеличения безопасности техногенных объектов и срока их службы, в расширении автоматизации производственных процессов.

В основу настоящей программы положены следующие дисциплины: метрология и метрологическое обеспечение; теория измерений; приборы и методы измерения по видам измерений; методы контроля и диагностика; приборы и методы неразрушающего контроля; приборы и методы аналитического контроля (аналитика); информационно-измерительные системы.

Программа разработана НИИ интроскопии и МГУ инженерной экологии и одобрена экспертным советом Высшей аттестационной комиссии по электронике, измерительной технике, радиотехнике и связи.

### **I. Теоретические основы контроля технических и природных объектов**

#### *1. Объекты контроля.*

Общая характеристика и классификация объектов контроля: веществ, материалов, изделий, природной среды. Вещества, агрегатные состояния веществ: газы, жидкости, твердые вещества. Общие сведения о физических и физико-химических свойствах веществ как объектов контроля. Смеси веществ, способы выражения состава веществ. Зависимости «состав – свойства» как методическая основа аналитического процесса.

Материалы, общие представления о структуре металлических и неметаллических материалов и их механических и химико-физических свойствах. Дефекты металлоизделий и способы контроля. Дефекты технологического происхождения. Эксплуатационные дефекты в условиях статических и переменных нагрузок. Растрескивание под действием термических напряжений. Радиационные повреждения. Дефекты неметаллических материалов и их обнаружение.

Изделие как единица продукции. Классификация промышленной продукции. Качество продукции, показатели качества, номенклатура показателей качества, показатели назначения, надежности, взаимозаменяемости, точности, стабильности и др. Квалиметрическая оценка качества продукции.

Общая характеристика природной среды как объекта экологического контроля. Природные и антропогенные экологические факторы. Антропогенные химическое и физическое (тепловое, электромагнитное, радиационное, вибрационное, акустическое и др.) загрязнения природной

среды. Основные источники загрязнения. Нормирование загрязняющих веществ в воздухе, воде, почве. Нормирование как важный элемент управления качеством природной среды.

## *2. Общие сведения о методах и приборах контроля.*

Основные стадии формирования контроля и управления качеством. Виды технического контроля. Измерения при контроле. Методики выполнения измерений. Выбор средств контроля. Источники погрешностей контроля. Принятие решений по результатам контроля. Условные вероятности ошибочных и правильных решений. Достоверность контроля. Характеристики выборочного контроля. Статистические методы контроля. Классификация методов контроля по признаку контролируемых свойств объекта. Общая характеристика методов аналитического контроля и методов неразрушающего контроля.

Области применения различных приборов и методов контроля, комплексное применение методов. Экономическая эффективность применения неразрушающего контроля. Организация контроля в производственных условиях и в процессе эксплуатации.

Государственные и международные стандарты в области контроля природной среды, веществ, материалов и изделий.

## *3. Основы метрологии и метрологического обеспечения.*

Предмет и задачи метрологии. Физические величины, единицы величин, системы единиц физических величин. Размерности величин и единиц, анализ размерности. Классификация измерений, виды и методы измерений. Погрешности измерений, классификация погрешностей. Случайные и систематические погрешности. Типовые законы распределения погрешностей измерений. Численные характеристики погрешностей измерений, интервальные характеристики погрешностей. Погрешности прямых, косвенных и совокупных измерений.

Классификация средств измерений (СИ). Принципы построения СИ. Типовые структурные схемы СИ и их элементы. Сигналы измерительной информации, временное и спектральное представление сигналов. Преобразование сигналов измерительной информации в СИ. Статические и динамические характеристики СИ, математические модели этих характеристик. Информационные характеристики СИ. Погрешности СИ в статике и динамике. Нормирование метрологических характеристик СИ. Методы повышения точности СИ. Конструктивно-технологические, структурные, алгоритмические и комплексные методы повышения точности СИ. Подготовка измерительного эксперимента. Технические измерения с однократными и многократными наблюдениями. Обработка и представление результатов наблюдений. Оценивание результатов и погрешностей прямых, косвенных и совокупных измерений с многократными и однократными наблюдениями.

Метрологическое обеспечение измерений. Закон РФ об обеспечении единства измерений. Государственная система обеспечения единства измерений. Передача размера единиц от эталона к образцовым и рабочим СИ. Градуировка, поверка СИ. Метрологическая служба.

Особенности метрологии средств контроля. Основные метрологические характеристики средств контроля.

## **II. Приборы и методы неразрушающего контроля материалов и изделий.**

### *4. Приборы и методы акустического контроля.*

Упругие свойства твердых тел. Диаграмма деформация-напряжение. Упругие и пластические деформации.

Волновое уравнение. Величины, характеризующие акустическое поле. Плоские, цилиндрические и сферические волны. Характеристический импеданс (удельное волновое сопротивление) среды.

Скорость распространения и затухание волн. Поглощение и рассеяние как составляющие затухания. Упругие волны в ограниченных средах. Дисперсия скорости. Распространение импульсов в дисперсных средах. Затухание. Методы возбуждения и приема.

Отражение, преломление и трансформация волн по границе раздела двух сред. Прохождение волн через слоистые структуры.

Основные виды ультразвуковых преобразователей. Важнейшие пьезоэлектрические материалы и их характеристики.

Резонансные и антирезонансные частоты. Демпфирование пьезопреобразователей. Коэффициенты преобразования при излучении и приеме.

Направленность. Диаграммы направленности при излучении. Фокусировка ультразвука. Ультразвуковой 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.

Ультразвуковые импульсные толщиномеры. Методы уменьшения погрешностей. Ультразвуковые резонансные дефектоскопы-толщиномеры. Ультразвуковые теневые дефектоскопы.

Приборы для контроля методом акустической эмиссии.

Принцип и область применения метода АЭ. Эффект Кайзера. Информативные параметры метода. Помехи и борьба с ними. Выбор диапазона частот. Определение координат дефектов.

Приборы для контроля физико-механических свойств материалов.

Низкочастотные средства контроля многослойных конструкций и изделий из неметаллов. Структурные схемы дефектоскопов, использующих эти методы.

Преобразователи ультразвуковых дефектоскопов (совмещенные, раздельно-совмещенные, раздельные).

Электромагнитно-акустические преобразователи.

Методы повышения помехоустойчивости ультразвуковой аппаратуры. Структурные шумы, их природа и пути уменьшения. Способы увеличения отношения сигнала к шуму.

Механизация и автоматизация ультразвукового контроля.

Акустическая голография. Принципы акустической голографии.  
Область ее применения.

#### *5. Приборы и методы вибрационного контроля и диагностики.*

Физические основы методов обнаружения дефектов работающего оборудования по результатам измерения параметров вибрации.

Основы теории виброизмерительных приборов. Виброизмерительные приборы инерционного действия, режим работы, области рабочих частот, характерные погрешности. Бесконтактные преобразователи вибрации. Характерные погрешности измерения. Наиболее распространенные типы электроизмерительных преобразователей, используемых в датчиках вибраций.

Область применения и структурные схемы построения аппаратуры для эксплуатационного контроля вибрационного состояния и технической диагностики машин. Типы обнаруживаемых дефектов.

#### *6. Приборы капиллярного контроля.*

Физические основы капиллярного контроля, технология контроля. Основные дефектоскопические материалы: проникающие жидкости, проявители, очистители.

Аппаратура для цветного и люминесцентного контроля. Ее основные параметры, способы их поверки. Контрольные образцы. Область применения.

#### *7. Приборы и методы магнитного контроля.*

Природа диа-, пара-, и ферромагнетизма. Методы измерения напряженности магнитных полей, намагниченности и индукции.

Магнитная дефектоскопия. Виды и устройства для намагничивания изделий. Выбор оптимального намагничивания. Магнитное поле дефекта. Способы распространения и индикации магнитных полей дефектов. Методы магнитной дефектоскопии: магнитопорошковый, феррозондовый, магнитоиндукционный, с датчиками Холла, магниторезистивный, магнитографический. Область применения.

Связь магнитных свойств с химическим и структурным состоянием материала. Приборы для контроля физико-химических свойств материала и изделий, основанные на измерении магнитных характеристик. Магнитные толщиномеры.

#### *8. Приборы и методы оптического контроля.*

Физическая природа оптических явлений, используемых для контроля: дифракция, интерференция, поляризация, рассеяние света, фотоэффект. Принципы построения оптических приборов контроля. Основные виды источников излучения. Согласование приемников излучения с оптической системой. Аппаратура и методы оптического контроля и выявления дефектов: средства визуального контроля, микроскопы, стереомикроскопы, эндоскопы, интерферометрические и голографические приборы, приборы поляризационного контроля. Область применения.

#### *9. Приборы и методы радиационного контроля.*

Природа радиационного излучения и его основные характеристики. Интенсивность излучения. Единицы дозы и активности. Взаимодействие

заряженных частиц, нейтронов, рентгеновского и гамма-излучения с веществом.

Источники излучения: рентгеноаппараты, линейные ускорители, бетатроны, микротроны, радиоактивные изотопы. Методы регистрации излучения: фотопленка и усиливающие экраны, ксерография, сцинтилляционные счетчики. Рентгенооптические преобразователи.

Основы методики радиационного контроля. Области применения. Выбор источников энергии излучения и методов регистрации. Геометрия просвечивания, выбор оптимального фокусного расстояния, факторы, влияющие на контрастность снимков. Компенсаторы. Определение размера и положения дефекта. Радиография. Стереорентгенография. Принципы компоновки устройств, реализующих радиографический и рентгенотелевизионный методы дефектоскопии. Аппаратура для контроля нейтронным излучением и заряженными частицами. Радиационные толщинометры. Компьютерная томография.

Техника безопасности и промышленная санитария.

#### *10. Приборы и методы радиоволнового контроля.*

Распространение радиоволн, взаимодействие с веществом. Отражение, преломление, поглощение, рассеяние, интерференция, дифракция. Диэлектрические свойства материалов в диапазоне микрорадиоволн. Область применения.

#### *11. Приборы и методы теплового контроля.*

Законы теплового излучения: Планка, Вина, Стефана-Больцмана. Основы тепловых методов контроля. Виды теплового контроля. Основные области их применения. Сравнительная оценка.

Термоэлектрические и жидкокристаллические преобразователи. Приемники инфракрасного излучения. Принципы построения пирометров: радиационных, яркостных, частичного измерения, цветowych. Тепловизоры, их устройство и применение. Особенности включения приемников тепловизионных сканирующих систем. Область применения.

#### *12. Приборы и методы контроля течеисканием.*

Понятие герметичности. Основные виды нарушения герметичности.

Величины течей, единицы измерений. Принципиальные основы методов испытания на герметичность - регистрация проникающих через течи жидких и газообразных пробных веществ. Основные характеристики испытаний, чувствительность, диапазон выявляемых течей. Определение суммарной герметичности и локализация течей.

Наиболее распространенные пробные вещества, способы регистрации и проникновения их через течи. Область применения.

Разновидности течеискателей и способы их применения. Способы калибровки приборов.

#### *13. Приборы и методы электрического контроля.*

Основы электрического метода.

Измерение электрического сопротивления. Методы переменного и постоянного токов.

Приборы для контроля дефектов и химического состава, основанные на измерении электросопротивления, тангенса угла потерь, диэлектрической

постоянной. Особенности их применения, преимущества и недостатки. Область применения.

#### *14. Приборы, и методы электромагнитного контроля.*

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, влияния движения изделий. Метод высших гармоник.

Структурные схемы приборов, реализующих различные способы разделения параметров. Электромагнитные дефектоскопы, толщиномеры, приборы контроля физико-химических свойств материалов. Область применения.

### **III. Приборы и методы контроля веществ (аналитический контроль).**

Роль и значение аналитического контроля в народном хозяйстве. Классификация аналитических методов и приборов. Методы и приборы, основанные на непосредственном измерении физических параметров смесей. Методы и прибора с предварительным преобразованием анализируемой пробы. Общая характеристика аналитических методов, их чувствительности и избирательности. Метрологическое обеспечение средств аналитического контроля.

#### *15. Приборы и методы контроля состава жидкостей.*

Оптические методы и приборы контроля состава жидкостей. Фотометрические дисперсионные и недисперсионные анализаторы. Абсорбционные фотометрические анализаторы, работающие в ультрафиолетовой, видимой и инфракрасной областях спектра. Турбодиметрические и фотоколориметрические анализаторы. Типовые структурные схемы абсорбционных приборов, их основные характеристики и области применения, Эмиссионные фотометрические приборы и методы контроля состава жидкостей; люминесцентные, пламенные, нефелометрические. Рефрактометрические, поляризационные и атомно-абсорбционные методы и приборы. Физические основы фотометрических методов, структурные схемы фотометрических анализаторов, уровень их технических характеристик, тенденция развития.

Радиоизотопные аналитические методы и приборы: ионизационные, активационные, абсорбционные, по рассеиванию излучения и др. Их особенности, типовые структурные схемы, области применения.

Электрохимические методы и приборы контроля состава жидкостей: кондуктометрические (контактные и бесконтактные), диэлькометрические, полярографические, потенциометрические и др. Физико-химические основы методов.

Измерение электропроводности растворов контактными двух- и четырехэлектродными ячейками. Измерительные схемы кондуктометров. Методы и схемы температурной коррекции. Низко- и высокочастотная бесконтактная кондуктометрия. Эквивалентные электрические схемы ячеек. Измерительные схемы бесконтактных кондуктометров. Диэлькометрические анализаторы жидкостей. Первичные измерительные преобразователи и вторичные приборы диэлькометров. Полярографические анализаторы. Полярограммы одно- и многокомпонентных растворов. Полярографические анализаторы, работающие на постоянном и переменном токе, их структурные схемы и характеристики

Потенциометрические анализаторы, теоретические основы метода. Электродная система рН-метра, измерительная схема рН-метра. Определение координат изопотенциальной точки, схемы температурной компенсации. Приборы для измерения рН. Ионоселективные электроды, иономеры.

Механические анализаторы жидкостей, основанные на зависимости плотности и вязкости анализируемой пробы от ее состава. Основные методы и приборы измерения плотности и вязкости жидких сред

Автоматическое титрование. Кривые титрования. Схемы титрометров дискретного и непрерывного действия.

Применение микропроцессоров и вычислительных устройств в анализаторах состава жидкостей.

#### *16. Приборы и методы контроля состава газов.*

Особенности измерения состава газов. Классификация газоаналитических приборов.

Оптические приборы и методы газового анализа: абсорбционные и эмиссионные. Абсорбционно-оптические газоанализаторы инфракрасного поглощения (в том числе оптико-акустические), ультрафиолетового поглощения, фотокolorиметрические (жидкостные и ленточные) Эмиссионные газоаналитические приборы: электроразрядные, пламенные, люминесцентные, хемилюминесцентные. Области применения, типовые структурные схемы, основные метрологические характеристики оптических газоанализаторов.

Тепловые приборы и методы газового анализа: термокондуктометрические, термохимические. Области применения, измерительные схемы, основные характеристики.

Магнитные газоаналитические приборы: термомагнитные, магнитомеханические и др.

Электрохимические приборы и методы газового анализа: кондуктометрические, кулонометрические, потенциометрические и др. Особенности преобразования анализируемой пробы, области применения, структурные схемы и основные характеристики электрохимических газоанализаторов.

Ионизационные газоанализаторы: пламенно-ионизационные, аэрозольно-ионизационные и др. Масс-спектрометрический метод анализа. Структурные схемы масс-спектрометров, их основные характеристики. Тенденции развития масс-спектрометрии.

Хроматографический метод анализа. Физико-химические основы процесса разделения смесей. Структурная схема и основные элементы хроматографической установки. Виды хроматографических детекторов. Промышленные хроматографы, тенденции их развития. Автоматизированная обработка хроматограмм и масс-спектрограмм с использованием микропроцессорной техники.

Приборы и методы контроля влажности газов: психрометрический, точка росы, сорбционные и др. Области применения, структурные схемы приборов, их основные характеристики, тенденции развития.

#### **IV. Приборы и системы контроля природной среды**

Природная среда как объект экологического контроля. Основные загрязнители природной среды и их источники. Нормирование загрязнений в воздухе, воде, почве. Основные стадии и характеристики процесса контроля природной среды (отбор пробы, подготовка пробы, измерение состава, обработка и представление результатов измерения). Основные требования к методам и средствам контроля природной среды.

##### *17. Приборы и методы контроля природной среды.*

Классификация методов контроля параметров природной среды. Физико-химические основы методов контроля приоритетных загрязнений природной среды. Технические средства мониторинга воздушной среды, водной среды и почв: газоанализаторы, анализаторы жидкостей, анализаторы твердых и сыпучих веществ. Принцип действия, технические характеристики, области применения.

Методическое и техническое обеспечение аналитической аппаратуры универсального назначения (многокомпонентный анализ природной среды): атомная и молекулярная спектрофотометрия, газовые и жидкостные хроматографы, универсальные многоканальные компьютерные системы контроля окружающей среды.

Дистанционные методы контроля природной среды. Пассивные и активные дистанционные методы. Методы спектральной съемки и инфракрасной радиометрии. Методы дистанционного оптического зондирования. Технические средства дистанционного мониторинга.

##### *18. Системы экологического мониторинга.*

Структура экологического мониторинга антропогенного загрязнения природной среды, основные подсистемы мониторинга: мониторинг источников загрязнения, мониторинг атмосферы, мониторинг вод суши морей и океанов, мониторинг почв, фоновый мониторинг.

Единая государственная система экологического мониторинга (ЕГСЭМ), ее структура, функции. Региональные системы и локальный уровень ЕГСЭМ. Автоматизированные системы контроля (АСК) загрязнений как основа ЕГСЭМ. Типовая структура АСК, характеристики и элементы измерительных каналов АСК. Системы мониторинга химических загрязнений природной среды (воздуха, природных и сточных вод, почв): структура, состав, технические характеристики. Особенности контроля экологической обстановки в условиях больших городов.

Общие сведения о системах мониторинга радиационных, электромагнитных, тепловых, акустических и вибрационных экологических факторов. Воздействие указанных факторов, нормативы контроля, технические средства, характеристики систем и области применения.

#### Рекомендуемая литература:

1. Бурдун Г.Д., Марков Г.Н. Основы метрологии. М. Издательство стандартов, 1985.
2. Кузнецов В.А., Якунина Г.В. Основы метрологии: Уч. пособие. – М.: Издательство стандартов, 1995.
3. Боднер В.А., Алферов А.В. Измерительные приборы. Учебник для вузов: В 2 т. – М.: Издательство стандартов, 1986.
4. Неразрушающий контроль и диагностика. Справочник, под редакцией В.В. Клюева. М., Машиностроение, 1995.
5. Машиностроение. Энциклопедия. Том III-7. Измерения, контроль, испытания и диагностика. Под ред. В.В. Клюева. М., Машиностроение, 1996.
6. Машиностроение. Энциклопедия. Том IV-3. Надежность машин.. Под общ. ред. В.В. Клюева. М., Машиностроение, 1998. – 592 с. с ил.
7. Рентгенотехника. Справочник в 2-х кн. Под ред. В.В. Клюева. М., Машиностроение, 1992.
8. Неразрушающий контроль, 5 кн. Под редакцией В.В. Сухорукова. М., Высшая школа, 1992.
9. Фарзани Н.Г., Илясов Л.В. Технологические измерения и приборы: Учебник для вузов. – М.: Высшая школа, 1989.
10. Данцер К., Тан Э., Мольх Д. Аналитика. Систематический обзор. М.: Химия, 1981.
11. Горелик Д.О., Конопелько Л.А., Панков Э.Д. Экологический мониторинг. Оптико-электронные приборы и системы. Учебник в 2 томах. СПб, 1998.
12. Контроль химических и биологических параметров окружающей среды. Под ред. Исаева Л.К., СПб, центр «Союз», 1998.

Программа–минимум кандидатского экзамена по специальности для обучающихся по направлению подготовки 12.06.01 – Фотоника, приборостроение, оптические и биотехнические системы и технологии по направленности (профилю) подготовки – Приборы и методы контроля природной среды, веществ, материалов и изделий рассмотрена ученым советом ИМАШ УрО РАН «3» июля 2014 г., протокол № 5 и рекомендована к утверждению.

Составитель

Зав. аспирантурой, к.т.н.

Субачев Ю.В.

Согласовано:

Ученый секретарь, к.т.н.



Поволоцкая А. М.

Зам. директора по научным вопросам, д.т.н.



Буров С.В.