

А.Ф. ДЬЯКОВ
В.Г. КАНЦЕДАЛОВ
Г.П. БЕРЛЯВСКИЙ
В.М. МАТЮНИН

ОСНОВЫ
ОПЕРАТИВНОЙ
ДИСТАНЦИОННОЙ
ДИАГНОСТИКИ
ЭНЕРГО-
ОБОРУДОВАНИЯ
ТЭС И АЭС

2

ЭНЕРГЕТИКА

СОДЕРЖАНИЕ

1. ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ МЕТОДОВ, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ В ОБЩИХ И ЛОКАЛЬНЫХ СИСТЕМАХ ДИСТАНЦИОННОГО КОНТРОЛЯ МЕТАЛЛА	5
1.1. Визуальный метод с использованием волоконно-оптических световодов	8
1.2. Радиационные методы.....	25
1.3. Ультразвуковые методы.....	42
2. ФИЗИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ КОНТРОЛЯ И ДИАГНОСТИКИ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ МЕТАЛЛА	73
2.1. Средства электромагнитного контроля механических свойств материалов.....	78
2.2. Аппаратура и методы акустических измерений	89
3. ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫЕ УЛЬТРАЗВУКОВЫЕ ДАТЧИКИ И СИСТЕМЫ ОПЕРАТИВНОЙ ДИАГНОСТИКИ МЕТАЛЛА ЭНЕРГООБОРУДОВАНИЯ ТЭС И АЭС	194
3.1. Назначение и область применения устройства. Характеристика объекта. Применение устройства	194
3.2. Техническая характеристика	195
3.2.1. Состав устройства и конструктивное оформление	195
3.2.2. Показатели назначения	196
3.2.3. Условия эксплуатации	197
3.3. Описание и обоснование выбранной конструкции	198
3.3.1. Высокотемпературные ультразвуковые преобразователи (ВУЗП).....	198
3.3.1.1. Технические требования к разрабатываемым ВУЗП	198
3.3.1.2. Прямые ВУЗП.....	199
3.3.1.3. Призматические ВУЗП	199
3.4. Приборы управления и первичной обработки информации в системах и устройствах для оперативного контроля за развитием дефектов в литых корпусных деталях турбин (ЛКДТ)	203
3.4.1. Блок-схема предлагаемого устройства	203
3.4.2. Блок ВУЗП (БД).....	204
3.4.3. Блок ГУ (генераторно-усилительный).....	206
3.4.4. Блок регистрации (БР)	206
3.4.5. Блок программирования (БП).....	206
3.5. Результаты испытаний элементов устройства для контроля за развитием дефектов ЛКДТ	212
3.5.1. Программа и методика испытаний	212
3.5.2. Результаты испытаний	213
3.6. Источники технической информации, изобретения и поданные заявки на изобретения, использованные в данной разработке	217
3.7. Соответствие вариантов требованиям техники безопасности и производственной санитарии	217

3.8. Расчеты, подтверждающие работоспособность устройств для неразрушающего контроля металла.....	218
3.9. Описание организации работ с применением разрабатываемого изделия.....	218
3.10. Ожидаемая эффективность применения предлагаемого устройства	219
3.11. Уровень стандартизации и унификации.....	219
3.12. Технические характеристики и назначение отдельных ультразвуковых и механизированных приборов неразрушающего контроля металла	219
3.12.1. Ультразвуковой толщиномер УТ-111.....	219
3.12.2. Ультразвуковой толщиномер ТУЗ-1.....	223
3.12.3. Ультразвуковой дефектоскоп УД2-70	225
3.12.4. Образцы для настройки дефектоскопа с зарубками.....	226
3.12.5. Динамический твердомер ТДМ-1	226

4. РАЗРАБОТКА СИСТЕМ ОПЕРАТИВНОЙ ТЕХНИЧЕСКОЙ ДИАГНОСТИКИ И МОНИТОРИНГА ПАРОПРОВОДОВ И ДРУГОГО ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ С ЭЛЕМЕНТАМИ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА

4.1. Программно-аппаратный комплекс с персональной ЭВМ	229
--	-----

5. РАЗРАБОТКА ЦЕЛЕВЫХ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫХ УЛЬТРАЗВУКОВЫХ СИСТЕМ ДЛЯ ДИАГНОСТИКИ РАЗЛИЧНЫХ КОНСТРУКТИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ЭНЕРГООБОРУДОВАНИЯ

5.1. Классификация и выбор ультразвуковых датчиков и диагностического модуля, используемых для высокотемпературного контроля коэффициентов Пуассона.....	242
5.2. Методика расчета основных параметров акустических преобразователей	258
5.3. Методика акустического расчета волновода.....	261
5.4. Лабораторная опытная установка для контроля коэффициентов Пуассона и металла в холодном и горячем состояниях	266

6. МЕТОДИКИ ИЗМЕРЕНИЯ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ И ФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ МЕТАЛЛА ЭНЕРГООБОРУДОВАНИЯ.....

6.1. Методика измерения упругих модулей УЗМ	271
6.2. Методика определения критической температуры хрупкости УЗМ	272
6.3. Методика измерения модулей упругости третьего порядка с помощью волн Рэлея.....	275
6.4. Методика определения деформационной устойчивости паропроводных сталей по параметрам коэффициентов Пуассона	284
6.5. Экспериментальное и расчетное определение максимальных значений $K_{\mu} = K_{\mu c}$ при $C = C_{min}$ для стали 15X1M1Ф ($\tau_m = 640$ МПа).....	287

7. ОПИСАНИЕ И АНАЛИЗ ТЕХНИЧЕСКИХ ВОЗМОЖНОСТЕЙ АППАРАТУРЫ ДЛЯ ОПЕРАТИВНОГО И БАЗОВОГО ДИСТАНЦИОННОГО КОНТРОЛЯ ПАРАМЕТРОВ ФРАКТАЛЬНЫХ КЛАСТЕРОВ ЭНЕРГООБОРУДОВАНИЯ ТЭС

7.1. Методика оперативного контроля параметров фрактальных кластеров паропроводов ТЭС	290
7.2. Методика базового варианта измерения параметров фрактальных кластеров на паропроводах ТЭС	298
7.3. Методика приготовления реплик	302
7.4. Методика непрерывного ультразвукового автоматизированного контроля и диагностики литых корпусных деталей турбин	303
7.5. Методика определения остаточной деформации ползучести сложнопрофильных конструкций энергооборудования электростанций	307
7.6. Методика исследования и мониторинга трубопроводов питательной воды энергоблоков мощностью 160—800 МВт	316
7.7. Методика и мониторинг длительной прочности котельных труб работающего энергооборудования	336
7.8. Оперативный метод определения характеристик металла паропроводов при восстановительной термообработке	352
8. ДИАГНОСТИЧЕСКАЯ АППАРАТУРА ДЛЯ АЭС	364
8.1. Роботы для дистанционного контроля трубопроводов АЭС	364
8.2. Агрегированные комплексы для дистанционного контроля труднодоступных элементов АЭС с ВВЭР	382
8.3. Мониторинг остаточного ресурса оборудования АЭС по показателям коррозионно-механической прочности конструкционных материалов	394
9. ТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА И РЕАЛИЗАЦИЯ МЕТОДОВ БЕЗОБРАЗЦОВОЙ ЭКСПРЕСС-ОЦЕНКИ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ МАТЕРИАЛОВ	402
9.1. Приборы для испытаний вдавливанием	403
9.2. Приборы для испытаний царапанием	415
9.3. Области и примеры высокоэффективного применения безобразцовых методов	418
9.4. Некоторые практические рекомендации	424
10. СТЕНДОВОЕ ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ИСПЫТАНИЯ БАЗОВЫХ И ОПЕРАТИВНЫХ СРЕДСТВ И СИСТЕМ ТЕХНИЧЕСКОЙ ДИАГНОСТИКИ ЭНЕРГООБОРУДОВАНИЯ ТЭС И АЭС	429
10.1. Предисловие к разработке	429
10.2. Разработка аустенитного стенда для испытания средств дистанционного контроля металла применительно к трубопроводам АЭС	432
10.2.1. Общие соображения по выбору конструкции стенда	432
10.2.2. Описание дистанционного агрегированного комплекса (ДАК-1)	434
10.2.3. Определение основных параметров стендовой установки и установки ДАК-1	437
10.3. Испытание установки ДАК-1	444
10.3.1. Программа испытаний	444
10.3.1.1. Проведение испытаний	444
10.3.1.2. Определение технических характеристик установки ДАК-1	447
10.3.2. Малогабаритная стендовая установка	447

10.4. Стендовая установка для испытания средств дистанционного контроля металла применительно к перлитным трубопроводам ТЭС	449
10.5. Стендовая установка для испытания волоконно-оптических элементов и каналов видеосвязи	452
10.5.1. Общие соображения по выбору конструкции стендовой установки ..	452
10.5.2. Описание конструкции стенда	454
10.5.2.1. Общее описание стенда	454
10.5.2.2. Конструкция рейтеров	458
10.5.2.3. Столик юстировочный	458
10.5.2.4. Оправка для призм	460
10.5.2.5. Оправка для линз	460
10.5.2.6. Держатель для световодов	462
10.5.2.7. Источники когерентного света-лазера	462
10.5.2.8. Комплект мир	462
10.5.2.9. Микроскоп МПБ-2	464
10.5.3. Экспериментальная часть	465
10.5.3.1. Программа проведения исследований на оптическом стенде ..	465
10.5.3.2. Измеряемые характеристики	465
10.5.3.3. Измерение углов призм	466
10.5.3.4. Измерение показателя преломления и дисперсии оптического стекла	468
10.5.3.5. Результаты исследований некоторых характеристик волоконно-оптических элементов	474
10.6. Метрологические испытания оптического стенда	483

11. РАЗРАБОТКА И ОПЫТНОЕ ОСВОЕНИЕ ПИРОМЕТРА С ПИРОЭЛЕКТРИЧЕСКИМ ПРИЕМНИКОМ ИЗЛУЧЕНИЯ НА ОСНОВЕ СЕГНЕТОКЕРАМИКИ

11.1. Введение	486
11.2. Предисловие к разработке	486
11.3. Основные методы пирометрии	487
11.3.1. Метод пирометрии по соотношению потоков суммарной радиации ..	491
11.3.2. Температура частичной радиации	493
11.3.3. Яркостная температура	494
11.3.4. Цветовая температура	495
11.3.5. Связь между температурой суммарного излучения и яркостной температурой	498
11.3.6. Методы калибровки приемников теплового излучения	500
11.4. Излучательная способность реальных тел	502
11.5. Структурно-функциональные схемы и конструктивные особенности разработанных пироприемников	510
11.5.1. Пирометр пирозлектрический вакуумный (ППЭВ-1)	510
11.5.2. Пироприемники пирозлектрические модульные (ППМ)	513
11.6. Техническая характеристика модулей предусилителей пиросигнала	517
11.7. Рабочие параметры пироприемников ППМ	517
ПРИЛОЖЕНИЯ	520
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	553