



7-я Международная выставка и конференция
**НЕРАЗРУШАЮЩИЙ КОНТРОЛЬ
И ТЕХНИЧЕСКАЯ ДИАГНОСТИКА
В ПРОМЫШЛЕННОСТИ**

11-13 марта 2008

СК "ОЛИМПИЙСКИЙ"
МОСКВА

ТЕЗИСЫ ДОКЛАДОВ



РОССИЙСКАЯ
АККРЕДИТАЦИЯ



EF European Federation for
Non-Destructive Testing
NDT

Спонсоры конференции:



АССОЦИАЦИЯ "СПЕКТР-ГРУПП"
ASSOCIATION "SPEKTR-GROUP"



primexpo

IS индустрия
СЕРВИС



ФЛЭШ ЭЛЕКТРОНИКС
FLASH ELECTRONICS Ltd



Федеральная служба по экологическому, технологическому и атомному надзору
Российское общество по неразрушающему контролю и технической диагностике
Федеральное агентство по науке и инновациям
Российская академия наук
Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии
Российский союз промышленников и предпринимателей
Европейская федерация по неразрушающему контролю (EFNDT)
Всемирный комитет по неразрушающему контролю (ICNDT)

НЕРАЗРУШАЮЩИЙ КОНТРОЛЬ И ТЕХНИЧЕСКАЯ ДИАГНОСТИКА В ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Тезисы докладов 7-й Международной конференции

11–13 марта 2008 г.
Москва



СПОНСОРЫ КОНФЕРЕНЦИИ



АССОЦИАЦИЯ "СПЕКТР-ГРУПП"
ASSOCIATION "SPEKTR-GROUP"



primexpo



ФЛЭШ ЭЛЕКТРОНИКС
FLASH ELECTRONICS Ltd



Москва
Машиностроение
2008

УДК [681.518.54+620.19](035)
ББК 30.82-5я2
Н54

Н54 **Неразрушающий контроль и техническая диагностика в промышленности:**
тезисы докладов 7-й Международной конференции. Москва, 11–13 марта 2008 г. –
М.: Машиностроение, 2008. – 208 с.: ил.
ISBN 978-5-94275-394-8

Сборник содержит тезисы научных докладов, представленных на 7-й Международной конференции. Изложены результаты работ более 200 российских и зарубежных фирм – мировых лидеров по производству средств неразрушающего контроля и технической диагностики. В состав сборника вошли работы в области технологической диагностики, антитеррористической диагностики, экологической диагностики, технического регулирования и определения остаточного ресурса.

УДК[681.518.54+620.19](035)
ББК 30.82-5я2

ISBN 978-5-94275-394-8

© РОНКТД, 2008

Содержание

ПЛЕНАРНОЕ ЗАСЕДАНИЕ

Президиум: Пуликовский К.Б., Клюев В.В., Бобров В.Т., Мигун Н.П., Троицкий В.А. 15

- П.4 РАЗВИТИЕ НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ И ТЕХНИЧЕСКОЙ ДИАГНОСТИКИ В РЕСПУБЛИКЕ БЕЛАРУСЬ
Мигун Н.П. 15
- П.5 МАГНИТНЫЕ МЕТОДЫ КОНТРОЛЯ ИЗДЕЛИЙ ПОРОШКОВОЙ МЕТАЛЛУРГИИ
Горкунов Э.С. 17
- П.6 УЛЬТРАЗВУКОВОЙ КОНТРОЛЬ БЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ ИЗ НАПРЯЖЕННОГО БЕТОНА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВИЗУАЛИЗИРУЮЩИХ МЕТОДОВ
Мильтман Б., Краузе М., Миленц Ф., Фризе М., Виггенхаузер Н., Майер К. 18
- П.7 РАЗРАБОТКИ ИЭС ИМ. Е.О. ПАТОНА В ОБЛАСТИ НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ
Патон Б.Е., Троицкий В.А. 18
- П.8 П.К. ОЩЕПКОВ – К 100-ЛЕТИЮ СО ДНЯ РОЖДЕНИЯ
Матвеев В.И. 20
- П.9 О РОЖДЕНИИ РАДИОЛОКАЦИИ
Голотюк В.Л. 21
- П.10 СЛОВО ОБ УЧЕНОМ – ЗЕМЛЯКЕ
Барсуков В.К. 23
- П.11 ЖИЗНЬ И МЕЧТА П.К. ОЩЕПКОВА
Климов К.М. 25
- П.12 О РАЗВИТИИ ИДЕЙ П.К. ОЩЕПКОВА В ОБЛАСТИ НОВЫХ И ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ
Сидоров М.А. 25

СЕКЦИЯ 1. Техногенная диагностика

Руководители секции: Бобров В.Т., Федосенко Ю.К., Сухоруков В.В. 27

- 1.1 ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ МАГНИТНЫХ МЕТОДОВ НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ
Горкунов Э.С., Мужичкий В.Ф. 27
- 1.2 СИСТЕМА НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ РЕЛЬСОВ В ЦИКЛЕ «ИЗГОТОВЛЕНИЕ – ЭКСПЛУАТАЦИЯ – ВОССТАНОВЛЕНИЕ – СВАРКА»
Гурвич А.К. 28
- 1.3 СОСТОЯНИЕ СРЕДСТВ НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ РЕЛЬСОВ В РОССИИ И ПЕРСПЕКТИВЫ ИХ РАЗВИТИЯ
Горделий В.И., Горделий А.В., Чебан В.И. 30
- 1.4 РАЗВИТИЕ СИСТЕМ НАНОДИАГНОСТИКИ
Клюев В.В., Матвеев В.И. 32
- 1.5 ПЕРЕНОСНОЙ МЕТАЛЛОГРАФИЧЕСКИЙ МИКРОСКОП ГИБ-2М И КОМПЛЕКС СРЕДСТВ КОНТРОЛЯ НА ЕГО ОСНОВЕ
Горбачев А.Н. 33

1.6	ОСОБЕННОСТИ ВИХРЕТОКОВОЙ ДЕФЕКТΟΣКОПИИ МАГИСТРАЛЬНЫХ ТРУБОПРОВОДОВ Мужицкий В.Ф., Бакунов А.С., Шубочкин А.Е., Загидулин Р.В.	34
1.7	КЛАССИФИКАЦИЯ НЕСПЛОШНОСТЕЙ В СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЯХ ДУ1200 ПАРΟГЕНЕРАТОРОВ АЭС С РЕАКТОРОМ ВВЭР-1000 ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ СИСТЕМ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО УЛЬТРАЗВУКОВОГО КОНТРОЛЯ СЕРИИ «АВГУР» Бадалян В.Г., Самарин П.Ф., Тихонов Д.С.	36
1.8	РЕНТГЕНОВСКАЯ ПРОМЫШЛЕННАЯ ТОМОГРАФИЯ ПРИ ОГРАНИЧЕННЫХ ПРОЕКЦИОННЫХ ДАННЫХ Венгринович В.Л., Золотарев С.А., Денкевич Ю.Б., Решетовский И.И.	37
1.9	АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ КОМБИНИРОВАННЫЙ ВИХРЕТОКОВЫЙ И УЛЬТРАЗВУКОВОЙ КОНТРОЛЬ ПРОКАТНЫХ ВАЛКОВ Поздеев В.В., Киффер Патрик	38
1.10	МЕТОДОЛОГИЯ И КОМПЛЕКС УЛЬТРАЗВУКОВОГО КОНТРОЛЯ ДЛИННОМЕРНЫХ РЕЛЬСОВЫХ ПЛЕТЕЙ ПРИ ИХ ПРОИЗВОДСТВЕ В РСР И ЭКСПЛУАТАЦИИ В ПУТИ Марков А.А., Козьяков А.Б.	38
1.11	ПУТИ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ (ЗАДАЧИ И РЕШЕНИЯ) ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ДЕФЕКТΟΣКОПОВ ДЛЯ ПРОМЫШЛЕННОГО КОНТРОЛЯ ТРУБ И ПРОКАТА Федосенко Ю.К.	41
1.12	ОПРЕДЕЛЕНИЕ СОСТОЯНИЯ КОМПОЗИТНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ МЕТОДОМ АКУСТИЧЕСКОЙ ЭМИССИИ Бехал Ю., Макаров В.	42
1.13	DETECTION CAPABILITIES OF STATE-OF-THE-ART SHEAROGRAPHY SYSTEMS E. Moser, J. Collrep	43
1.14	ПРИМЕНЕНИЕ УПРАВЛЯЮЩИХ КОМПЛЕКСОВ В РЕШЕНИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ЗАДАЧ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО УЛЬТРАЗВУКОВОГО КОНТРОЛЯ СВАРНЫХ ТРУБ Ткаченко А.А.	44
1.15	НОВЫЕ СРЕДСТВА МАЛОЙ МЕХАНИЗАЦИИ УЛЬТРАЗВУКОВОГО КОНТРОЛЯ ПРОКАТА Щербинский В.Г., Ермолов И.Н.	46
1.16	КОНТРОЛЬ ВНУТРЕННЕЙ СТРУКТУРЫ ОБЖАТОЙ ВЗРЫВОМ ЖЕЛЕЗНОЙ СФЕРИЧЕСКОЙ ОБОЛОЧКИ МЕТОДОМ УЛЬТРАМАЛОРАКУРСНОЙ КОМПЬЮТЕРНОЙ ГАММА-ТОМОГРАФИИ Брезгина Л.П., Коновалов А.Б., Могиленских Д.В.	47
1.17	ПРИМЕНЕНИЕ УЛЬТРАЗВУКОВОГО ИНТЕРФЕРЕНЦИОННОГО СКАНИРУЮЩЕГО ДЕФЕКТΟΣКОПА ДЛЯ КОНТРОЛЯ УЗЛОВ ТЕРМОЯДЕРНОГО РЕАКТОРА Гурьева Т.М., Грудская Е.Г., Егоров Н.Н.	49

СЕКЦИЯ 2. Антитеррористическая диагностика

Руководители секции: Ковалев А.В., Буклей А.А., Артемьев Б.В.

- 2.1 ОБНАРУЖИТЕЛЬНЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ СОВРЕМЕННЫХ НЕОХЛАЖДАЕМЫХ ПОИСКОВЫХ ПОРТАТИВНЫХ ТЕПЛОВИЗИОННЫХ СРЕДСТВ
Ковалев А.А., Ковалев А.В. 50
- 2.2 ОПЫТ РАЗВИТИЯ МЕТОДА РЕГИСТРАЦИИ ОБРАТНОРАССЕЯННОГО ИЗЛУЧЕНИЯ
Буклей А.А. 51
- 2.3 РАДИОЛУЧЕВЫЕ ДАТЧИКИ ДЛЯ ОХРАНЫ ПЕРИМЕТРА
Матвеев В.И. 51
- 2.4 НОВЕЙШИЕ РАЗРАБОТКИ ОПТОВОЛОКОННЫХ И ТЕЛЕВИЗИОННЫХ ЭНДОСКОПИЧЕСКИХ СРЕДСТВ
Канцеров М.В., Кекин А.Г., Пономарев М.А., Федчишин В.Г., Хныков Ю.А., Стародубцева Е.Е. 52

СЕКЦИЯ 3. Экологическая диагностика

Руководители секции: Вавилов В.П., Бобров В.Т., Сажин С.Г., Будадин О.Н.

- 3.1 СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ И СРЕДСТВА ДИАГНОСТИКИ ПОДЗЕМНЫХ КОММУНИКАЦИЙ
Изотов А.В., Кольцов В.Н. 53
- 3.2 МУЛЬТИЗАДАЧНЫЙ МОБИЛЬНЫЙ КОМПЛЕКС ДИАГНОСТИКИ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ПОТЕНЦИАЛЬНО ОПАСНЫХ ОБЪЕКТОВ И ЭКОЛОГИЧЕСКИ ОПАСНЫХ ОБЪЕКТОВ
Будадин О.Н., Троицкий-Марков Т.Е. 54
- 3.3 ТЕПЛОВЫЙ КОНТРОЛЬ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ: ОПРЕДЕЛЕНИЕ АНИЗОТРОПНЫХ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ, ОБНАРУЖЕНИЕ И ОЦЕНКА ПАРАМЕТРОВ ДЕФЕКТОВ
Вавилов В.П. 56
- 3.4 ВЫСОКОЧУВСТВИТЕЛЬНЫЙ РЕНТГЕНОФЛУОРЕСЦЕНТНЫЙ АНАЛИЗ И КОМПЛЕКС АППАРАТУРЫ РЛП-3-01 ДЛЯ КОНТРОЛЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РАСТВОРОВ И ЭКОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА
Колосков С.А., Кузелева Е.В., Кузелев Н.Р., Щекин К.И. 57
- 3.5 СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ АКУСТИКО-ЭМИССИОННОГО МОНИТОРИНГА
Кожаринов В.В. 58
- 3.6 АКУСТОЭМИССИОННЫЙ КОНТРОЛЬ И ДИАГНОСТИКА ВЕЧНОМЕРЗЛЫХ И ПРОМЕРЗАЮЩИХ ОСНОВАНИЙ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ
Потапов А.И., Павлов И.В. 58

СЕКЦИЯ 4. Сертификация, метрология, стандартизация, остаточный ресурс

Руководители секции: Королев В.М., Бирюкова Н.П., Лисицын В.И.

- 4.1 АККРЕДИТАЦИЯ ОРГАНОВ ОЦЕНКИ СООТВЕТСТВИЯ В ОБЛАСТИ НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ И РЕЗУЛЬТАТЫ ИХ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ В ЕДИНОЙ СИСТЕМЕ ОЦЕНКИ СООТВЕТСТВИЯ НА ОБЪЕКТАХ, ПОДКОНТРОЛЬНЫХ РОСТЕХНАДЗОРУ
Коновалов Н.Н., Шевченко В.П., Кочеткова О.Н. 60

4.2	АТТЕСТАЦИЯ ЛАБОРАТОРИЙ НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ. ТЕХНИЧЕСКИЕ И ОРГАНИЗАЦИОННЫЕ ОСОБЕННОСТИ Бобров В.А., Вадковский Н.Н., Дергачев Е.Н., Назаркин Г.М.	62
4.3	СЕРТИФИКАЦИЯ ПЕРСОНАЛА В ОБЛАСТИ НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ ПО РОССИЙСКИМ И МЕЖДУНАРОДНЫМ СТАНДАРТАМ Бирюкова Н.П.	62
4.4	«СПЕКТРСЕРТ» – НЕЗАВИСИМЫЙ ОРГАН ЗАО «МНПО «СПЕКТР» – ОПЫТ ПОЛУЧЕНИЯ ПРИЗНАНИЯ И РЕГИСТРАЦИИ В EFNDT Королев М.В., Лисицын В.И., Туробов Б.В., Тарасенков Г.А., Глотов Д.А.	63
4.5	ОПЕРАТИВНАЯ МЕТАЛЛОГРАФИЯ И ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОСТАТОЧНОГО РЕСУРСА Филинов М.В., Фурсов А.С., Гольдштейн Р.В.	64
4.6	СТАНДАРТИЗАЦИЯ, МЕТРОЛОГИЯ И ОЦЕНКА СООТВЕТСТВИЯ В ОБЛАСТИ НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ С УЧЕТОМ МЕЖДУНАРОДНОГО ОПЫТА Муравская Н.П.	65
4.7	ОЦЕНКА ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ И РЕСУРСА ПРОМЫСЛОВЫХ ТРУБОПРОВОДОВ С ВНУТРЕННИМ ПОКРЫТИЕМ И ЗАЩИТОЙ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ВНУТРИТРУБНОЙ ДИАГНОСТИКИ МАГНИТНЫМ МЕТОДОМ Житников Ю.В.	67
4.8	АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ УЛЬТРАЗВУКОВАЯ СИСТЕМА ДИАГНОСТИКИ ДЕФЕКТНЫХ СЕЧЕНИЙ РЕЛЬСОВ С ВИЗУАЛИЗАЦИЕЙ ДЕФЕКТА И РАСЧЕТОМ ОСТАТОЧНОГО РЕСУРСА Вопилкин А.Х., Заушицын А.В., Кононов Д.А., Тихонов Д.С.	67
4.9	ОПЫТ СТАНДАРТИЗАЦИИ НОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ И МЕТОДОВ НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ ЧЕРЕЗ МЕЖДУНАРОДНЫЙ ИНСТИТУТ СВАРКИ Дубов А.А.	69
КРУГЛЫЙ СТОЛ. Проблемы вибродиагностики <i>Руководитель: Г.В. Зусман</i>		
К.1	ПРОГРАММИРУЕМЫЕ ВИБРОВЫКЛЮЧАТЕЛИ – НОВЫЙ КЛАСС ПРИБОРОВ ДЛЯ ЗАЩИТЫ ЭНЕРГОМЕХАНИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ Зусман Г.В.	70
К.2	ВИХРЕТОКОВЫЕ ВИБРОИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ДАТЧИКОВЫЕ СИСТЕМЫ С ФУНКЦИЕЙ АВТОМАТИЧЕСКОЙ КАЛИБРОВКИ Кирпичев А.А., Ключев А.В., Грошков Е.П., Шкатов П.Н.	70
К.3	ОБНАРУЖЕНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ПОВРЕЖДЕНИЙ ПОДШИПНИКОВ КАЧЕНИЯ ГАЗОТУРБИННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ И ИХ ЛОКАЛИЗАЦИЯ ПО ВЫСОКОЧАСТОТНЫМ ВИБРОСИГНАЛАМ Соколова А.Г.	72
К.4	АНАЛИЗ НЕЛИНЕЙНЫХ СВОЙСТВ ВИБРАЦИИ КАК СРЕДСТВО ПОЛУЧЕНИЯ ХАРАКТЕРНЫХ ДИАГНОСТИЧЕСКИХ ПРИЗНАКОВ РАЗВИТЫХ ДЕФЕКТОВ МАШИН Балицкий Ф.Я.	75

СТЕНДОВЫЕ ДОКЛАДЫ

C.1	ДИАГНОСТИКА ПОВРЕЖДЕНИЙ ВЕРТИКАЛЬНОЙ ШТАНГИ Ильгамов М.А.	76
C.2	ВЫБОР ОСНОВНЫХ ПАРАМЕТРОВ НИЗКОЧАСТОТНОГО ЭЛЕКТРОМАГ- НИТНОГО ПОЛЯ ДЛЯ КОНТРОЛЯ ТОЛСТОСТЕННЫХ ФЕРРОМАГНИТ- НЫХ ОБЪЕКТОВ ОТВЕТСТВЕННОГО НАЗНАЧЕНИЯ (РЕЗЕРВУАРОВ, ТРУБОПРОВОДОВ, ТРУБ) Махов В.М., Федосенко Ю.К.	78
C.3	ИССЛЕДОВАНИЕ И ОПТИМИЗАЦИЯ ХАРАКТЕРИСТИК НАПРАВЛЕН- НОСТИ ЛИНЕЙНОЙ ЭКВИДИСТАНТНОЙ АНТЕННОЙ РЕШЕТКИ Дурейко А.В.	78
C.4	ЭРГНОМИКА В МАГНИТОПОРОШКОВОМ КОНТРОЛЕ Тарасенков Г.А.	79
C.5	СЖАТИЕ СЛОЖНЫХ ЭХОСИГНАЛОВ СО СВЕРХРАЗРЕШЕНИЕМ МЕТО- ДОМ МАКСИМАЛЬНОЙ ЭНТРОПИИ Базулин А.Е., Базулин Е.Г.	80
C.6	ПОЛУЧЕНИЕ ВЫСОКОКАЧЕСТВЕННЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ МЕТОДОМ ДВОЙНОГО СКАНИРОВАНИЯ ПРИ ЭЛЕКТРОННОМ СКАНИРОВАНИИ АНТЕННОЙ РЕШЕТКОЙ Базулин Е.Г., Голубев А.С., Коколев С.А.	82
C.7	АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ УЛЬТРАЗВУКОВОЙ КОНТРОЛЬ КОМПОЗИТ- НЫХ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ НА АЭС С ВВЭР-440 И ВВЭР-1000 Самарин П.Ф., Тихонов Д.С., Федотовских В.Г., Кокорин А.Н.	84
C.8	КОНТРОЛЬ ПАРАМЕТРОВ ВЗВЕШЕННЫХ ЧАСТИЦ В ДИСПЕРСНЫХ ЖИДКОСТЯХ Карабегов М.А.	85
C.9	ОСОБЕННОСТИ АКУСТИКО-ЭМИССИОННОЙ СПЕКТРОСКОПИИ ФЛУК- ТУАЦИОННЫХ ЭФФЕКТОВ РАЗРУШЕНИЯ Крылов В.А.	87
C.10	МЕТРОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ НАСТРОЙКИ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ ПРИ УЛЬТРАЗВУКОВОМ КОНТРОЛЕ Воронков В.А., Воронков И.В.	89
C.11	ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ УЛЬТРАЗВУКОВОГО СТРУКТУРОСКОПА УС-ЗЦЛ ДЛЯ КОНТРОЛЯ ЧУГУННЫХ ТРУБ Воронкова Л.В., Носов В.А.	90
C.12	АДАПТИВНАЯ СИСТЕМА ТЕСТИРОВАНИЯ И ОЦЕНКИ МЕТАЛЛА ОБОРУДОВАНИЯ ТЭС ПО ДАННЫМ ПЕРИОДИЧЕСКОГО НЕРАЗРУ- ШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ Гребенник В.С.	90
C.13	МНОГОЭЛЕМЕНТНЫЕ ДЕТЕКТОРЫ ДЛЯ РЕНТГЕНОВСКОЙ ТОЛЩИНО- МЕТРИИ Артемьев Б.В., Волчков Ю.Е., Маслов А.И.	93

C.14	ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДА ВИРТУАЛЬНОЙ ДИНАМИЧЕСКОЙ ФОКУСИРОВКИ ДЛЯ УЛЬТРАЗВУКОВОЙ ТОМОГРАФИИ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ИЗДЕЛИЙ Соколов Н.Ю.	93
C.15	МАТРИЧНЫЙ ПОДХОД К ВЫБОРУ ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ ДИАГНОСТИРОВАНИЯ ТРУБОПРОВОДНЫХ СИСТЕМ Бобров С.В., Детков А.Ю., Зарицкий С.П.	94
C.16	АВТОМАТИЧЕСКИЙ КОНТРОЛЬ ВНЕШНЕГО ВИДА ЦИЛИНДРИЧЕСКОЙ ПОВЕРХНОСТИ ТОПЛИВНЫХ ТАБЛЕТОК Завьялов П.С., Финогенов Л.В., Белобородов А.В., Власов Е.В.	95
C.17	ДИАГНОСТИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС «ИНТЕГРАЛ» И АНАЛИТИЧЕСКАЯ СИСТЕМА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ «КАСКАД» Тарабрин В.Ф.	97
C.18	ТЕХНОЛОГИЯ И СРЕДСТВА ЛОКАЛЬНОГО И АВТОМАТИЗИРОВАННОГО НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ ДЕТАЛЕЙ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ПОДВИЖНОГО СОСТАВА Молотков С.Л., Курков А.В.	99
C.19	АЛГОРИТМИЧЕСКОЕ И ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДЛЯ КОМБИНИРОВАННОГО МАГНИТНОГО И МАГНИТНО-АКУСТИЧЕСКОГО МЕТОДА ОЦЕНКИ МЕХАНИЧЕСКИХ ОСТАТОЧНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ Филинов В.В., Шатерников В.Е., Ключев С.В., Аракелов П.Г.	101
C.20	ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ПОВРЕЖДЕННОСТИ МИКРОСТРУКТУРЫ КОРПУСА РЕАКТОРА, УПРОЧНЕННОГО ВОЛОКНИСТОЙ ОБОЛОЧКОЙ Волкова Т.А., Волков С.С.	102
C.21	ВОЛНОВЫЕ ЭФФЕКТЫ В ОБЛАСТИ ГРАНИЦЫ ДВУХ СРЕД ПРИ НАРУШЕНИИ АКУСТИЧЕСКОГО КОНТАКТА Аббакумов К.Е., Бритвин В.А., Коновалов Р.С.	103
C.22	АППАРАТУРА ДЛЯ ЭКСПРЕСС-ИЗМЕРЕНИЯ СКОРОСТЕЙ УЛЬТРАЗВУКОВЫХ ВОЛН В ТВЕРДЫХ СРЕДАХ Перегудов А.Н., Шевелько М.М., Попкова Е.С.	104
C.23	МОДЕЛИРОВАНИЕ ВОЛНОВЫХ ПРОЦЕССОВ В КАСКАДНОМ УЛЬТРАЗВУКОВОМ ВОЛНОВОДЕ Новик А.А.	106
C.24	БЫСТРОЕ ПРЕОБРАЗОВАНИЕ ФУРЬЕ НА БАЗЕ МАТЕМАТИЧЕСКОГО АППАРАТА НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ, СОВМЕЩЕННОЕ С ФИЛЬТРАЦИЕЙ, КАК ЧАСТЬ АЛГОРИТМА РЕКОНСТРУКЦИИ МРТ-ИЗОБРАЖЕНИЙ Коршаков А.В.	108
C.25	ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МАГНИТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК БЕСКОБАЛЬТОВЫХ МАРТЕНСИТНО-СТАРЕЮЩИХ СТАЛЕЙ ДЛЯ КОНТРОЛЯ ИХ ФАЗОВОГО СОСТАВА И МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ Горкунов Э.С., Задворкин С.М., Митропольская С.Ю., Осинцева А.Л., Вичужанин Д.И., Гладковский С.В.	110
C.26	ПРИМЕНЕНИЕ ЧЕТЫРЕХПОЛЮСНОГО ПЕРВИЧНОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ ДЛЯ ОЦЕНКИ НАПРЯЖЕНИЙ В СТАЛЯХ ПО АНИЗОТРОПИИ ИХ МАГНИТНЫХ СВОЙСТВ Горкунов Э.С., Поволоцкая А.М., Вичужанин Д.И., Задворкин С.М.	110

С.27	ИЗМЕРЕНИЕ ТОЛЩИНЫ СВЕРХТОНКИХ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ПЛЕНOK ПРИ ПОМОЩИ ИОНИЗИРУЮЩИХ ИЗЛУЧЕНИЙ Артемьев Б.В., Маслов А.И.	111
С.28	АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ УЛЬТРАЗВУКОВАЯ СИСТЕМА ДИАГНОСТИ- КИ КОЛЕСНЫХ ПАР ПАССАЖИРСКИХ ВАГОНОВ Вопилкин А.Х., Кононов Д.А., Тихонов Д.С.	112
С.29	СИСТЕМА КАЛИБРОВКИ УЛЬТРАЗВУКОВЫХ ПЬЕЗОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ «АВГУР 5.4» Базулин А.Е., Базулин Е.Г., Вопилкин А.Х., Тихонов Д.С.	113
С.30	ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ФАЗИРОВАННЫХ РЕШЕТОК ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ СКО- РОСТИ РАСПРОСТРАНЕНИЯ УЛЬТРАЗВУКОВЫХ КОЛЕБАНИЙ В ОБЪ- ЕКТЕ КОНТРОЛЯ Бишко А.В.	114
С.31	АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ КОМПЛЕКС «РОБОСКОП» Сырбу В.Н., Пырву С.И., Сляднев А.М.	115
С.32	К ВОПРОСУ О РАСПРОСТРАНЕНИИ АКУСТИЧЕСКИХ КОЛЕБАНИЙ В УГЛОВЫХ ОБЛАСТЯХ Толипов Х.Б., Гуревич С.Ю.	117
С.33	КОМПЛЕКСНАЯ ПЕРЕДВИЖНАЯ ЛАБОРАТОРИЯ ДЛЯ КОНТРОЛЯ ОБЪ- ЕКТОВ ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКИ Изотов А.В., Кольцов В.Н.	119
С.34	ПРИМЕНЕНИЕ ВТОРИЧНЫХ ПАРАМЕТРОВ СПЕКТРАЛЬНЫХ ФУНКЦИЙ СИГНАЛОВ АЭ ПРИ РЕШЕНИИ ЗАДАЧ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ РАЗРУШЕНИЙ Овчарук В.Н.	120
С.35	ТРУДНОСТИ ПРИ РЕСТАВРАЦИИ ИЗОБРАЖЕНИЙ В МЕТАЛЛОГРАФИИ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ТОЧНОСТИ КОЛИЧЕСТВЕННЫХ ОЦЕНОК Быков В.В., Маслов А.А., Филинов М.В., Фурсов А.С.	123
С.36	ОПЫТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МОДЕРНИЗИРОВАННОЙ УСТАНОВКИ «ЭМИС-2» НА ОБЪЕКТАХ КОМПАНИИ «ЭКСОН НЕФТЕГАЗ ЛИМИТЕД» Овчарук В.Н.	124
С.37	ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННАЯ СИСТЕМА ДИАГНОСТИКИ И КОНТРОЛЯ КОРРОЗИОННОГО СОСТОЯНИЯ И ГЕРМЕТИЧНОСТИ ТРУБОПРОВОДОВ Потапов И.А.	126
С.38	ОСОБЕННОСТИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ РЕНТГЕНОВСКИХ ГЕНЕРАТОРОВ, ПРИМЕНЯЕМЫХ В РАДИОМЕТРИЧЕСКОМ ОБОРУДОВАНИИ ПРИ СОР- ТИРОВКЕ РУД И СЫРЬЯ Лебедев П.В., Федоровский Е.В.	128
С.39	ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ДИСТАНЦИОННОГО ДОСМОТРА НА ОСНОВЕ РЕГИСТРАЦИИ РАССЕЯННОГО ИЗЛУЧЕНИЯ Буклей А.А., Паршин И.А.	129

C.40	ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПЛАСТИЧЕСКОЙ ДЕФОРМАЦИИ И ДЕСТРУКЦИИ НА КОЭРЦИТИВНУЮ СИЛУ СТАЛИ Довгилевич С.Е., Шатерников В.Е.	129
C.41	ИССЛЕДОВАНИЕ НА УСТОЙЧИВОСТЬ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ, ИМЕЮЩИХ СЛОЖНОЕ МАТЕМАТИЧЕСКОЕ ОЖИДАНИЕ Забиров Р.Р.	130
C.42	ДИАГНОСТИЧЕСКИЙ МНОГОКОНТУРНЫЙ КОМПЛЕКС ПО ОБЕЗВРЕЖИВАНИЮ ПРОМЫШЛЕННЫХ ОТХОДОВ Сажин В.А.	132
C.43	МЕТОДИКА ИЗМЕРЕНИЯ ТЕПЛОВИЗОРОМ ТЕМПЕРАТУРЫ ПОВЕРХНОСТИ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ОБРАЗЦОВ В ПРОЦЕССЕ СЖАТИЯ Смирнов А.С.	133
C.44	АКУСТИКО-ЭМИСИОННЫЙ КОНТРОЛЬ НА УСТАНОВКЕ ДЕТОКСИКАЦИИ И ОБЕЗВРЕЖИВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СТОЧНЫХ ВОД Цариковский А.И., Сажин С.Г.	135
C.45	КОМПЛЕКСНАЯ ДИАГНОСТИКА ГИБОВ КОТЕЛЬНЫХ И ПАРОПРОВОДНЫХ ТРУБ Дубов А.А., Миляев А.И., Ларин В.В.	136
C.46	ФИЗИЧЕСКИЕ КРИТЕРИИ ОЦЕНКИ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ МАТЕРИАЛОВ И ЭЛЕМЕНТОВ КОНСТРУКЦИЙ Власов В.Т., Дубов А.А.	137
C.47	НОРМАТИВНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ МОНИТОРИНГА СОСТОЯНИЯ ОПАСНЫХ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ОБЪЕКТОВ Костюков В.Н., Науменко А.П., Бойченко С.Н., Костюков Ал.В.	138
C.48	ПРОГРАММНО-АППАРАТНЫЕ СРЕДСТВА ДИАГНОСТИКИ И МОНИТОРИНГА СОСТОЯНИЯ ПОРШНЕВЫХ МАШИН Костюков В.Н., Науменко А.П.	142
C.49	ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ВИХРЕТОКОВОГО КОНТРОЛЯ ТИПА НАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ ПОВЕРХНОСНОГО СЛОЯ ЛОПАТОК ТУРБОМАШИН Устинов И.К.	145
C.50	ОБ ОСОБЕННОСТЯХ ЧИСЛЕННОГО РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ МАГНИТНОГО КОНТРОЛЯ ОБЪЕКТОВ СЛОЖНОЙ ГЕОМЕТРИЧЕСКОЙ ФОРМЫ Остапущенко Д.Л.	146
C.51	АКУСТИЧЕСКИЙ МЕТОД ОЦЕНКИ ПОВРЕЖДЕННОСТИ МЕТАЛЛОВ, ПОДВЕРГАЕМЫХ СИЛОВОМУ НАГРУЖЕНИЮ Мишакин В.В., Кассина В.В., Наумов М.Ю., Мишакин С.В.	147
C.52	ВЕЙВЛЕТ-АНАЛИЗ МАГНИТНОГО ПОЛЯ ДЕФЕКТА СПЛОШНОСТИ В ФЕРРОМАГНИТНОМ ИЗДЕЛИИ <u>Мужицкий В.Ф.</u> , Бакунов А.С., Шлеин Д.В., Загидулин Р.В.	148

C.53	АНАЛИЗ СПЕКТРА СИГНАЛА НИЗКОЧАСТОТНЫХ АКУСТИЧЕСКИХ ДЕФЕКТОСКОПОВ ПРИ КОНТРОЛЕ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ Сысоев А.М., Подкопаев С.В.	150
C.54	ТОЛЩИНОМЕТРИЯ ИЗДЕЛИЙ СО СЛОЖНЫМ ПРОФИЛЕМ Алехин С.Г., Бобров В.Т., Ивченко В.В., Козлов В.Н., Самокрутов А.А., Сергеев В.А., Шевалдыкин В.Г.	151
C.55	ТЕПЛОВОЙ КОНТРОЛЬ БЕЗОПАСНОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИИ СИЛОВЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ КАБЕЛЕЙ И ЭЛЕКТРОПРОВОДКИ Смирнов Ю.В., Будадин О.Н., Троицкий-Марков Р.Т., Баранов С.В., Мартынов С.А.	153
C.56	ДИСТАНЦИОННЫЙ ТЕПЛОВОЙ КОНТРОЛЬ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ПОЛИГОНА ТВЕРДЫХ БЫТОВЫХ ОТХОДОВ Будадин О.Н., Троицкий-Марков Т.Е.	154
C.57	АВТОМАТИЗАЦИЯ РАДИАЦИОННОГО КОНТРОЛЯ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ Белый Н.Г., Карманов М.Н., Шалаев В.А.	154
C.58	МЕТОД И ТЕХНОЛОГИЯ НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ ТРУБОК ТЕПЛООБМЕННИКОВ УЛЬТРАЗВУКОВЫМИ НАПРАВЛЕННЫМИ ВОЛНАМИ Троицкий В.А., Бондаренко А.И., Лазебный В.С., Горбик В.М.	155
C.59	КОМПЛЕКСНЫЙ НЕРАЗРУШАЮЩИЙ КОНТРОЛЬ СВАРНЫХ РЕЗЕРВУАРОВ БОЛЬШОГО ОБЪЕМА Троицкий В.А., Посыпайко Ю.Н.	156
C.60	МАГНИТОМЕТРИЧЕСКИЙ КОНТРОЛЬ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ И КОНСТРУКЦИЙ Троицкий В.А., Загребельный В.И.	157
C.61	ПРИМЕНЕНИЕ НАПРАВЛЕННЫХ ВОЛН В УЛЬТРАЗВУКОВОМ КОНТРОЛЕ ТРУБОПРОВОДОВ Троицкий В.А., Радько В.П.	158
C.62	РАЗРАБОТКИ ИЭС ИМ. Е.О. ПАТОНА В ОБЛАСТИ КОНТРОЛЯ ГЕРМЕТИЧНОСТИ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ Посыпайко Ю.Н.	160
C.63	РЕНТГЕНОТЕЛЕВИЗИОННАЯ СИСТЕМА НА ОСНОВЕ ВЫСОКОЧУВСТВИТЕЛЬНЫХ ПЗС-КАМЕР И МОНОКРИСТАЛЛИЧЕСКИХ ЭКРАНОВ CsJ(Tl) Троицкий В.А., Белый Н.Г., Бухенский В.Н.	161
C.64	ОЦЕНКА ПОТЕНЦИАЛЬНОЙ ОПАСНОСТИ ДЕФЕКТОВ ОБОЛОЧКОВЫХ КОНСТРУКЦИЙ Чирков Ю.А.	162
C.65	ТЕПЛОВОЙ КОНТРОЛЬ БЕЗОПАСНОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИИ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ КОНСТРУКЦИЙ ПРИ ИХ НАГРУЖЕНИИ ПУТЕМ ВЫЯВЛЕНИЯ КОНЦЕНТРАТОРОВ НАПРЯЖЕНИЙ И ДЕФЕКТОВ Котельников В.В., Будадин О.Н.	164
C.66	ТЕПЛОВОЙ КОНТРОЛЬ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ КОНТАКТНЫХ СОЕДИНЕНИЙ Троицкий-Марков Р.Т., Будадин О.Н.	165

С.67	ПРОГРАММНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС МОЛЕКУЛЯРНОЙ ДИАГНОСТИКИ Власов А.И., Елсуков К.А., Шахнов В.А.	165
С.68	КОМПЛЕКСНАЯ СИСТЕМА ОЦЕНКИ СОСТОЯНИЯ ИНФРАСТРУКТУРЫ ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ Тарабрин В.Ф.	167
С.69	АВТОМАТИЗАЦИЯ УЛЬТРАЗВУКОВОГО КОНТРОЛЯ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ БАНДАЖЕЙ НА НИЖНЕТАГИЛЬСКОМ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОМ КОМБИНАТЕ Дымкин Г.Я., Кособоков Д.В., Шевелев А.В., Шелухин А.А.	169
С.70	ОСНОВНЫЕ ПРИНЦИПЫ СОЗДАНИЯ МЕТОДИК НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ Воронков В.А.	169
С.71	ВОЗМОЖНОСТИ НАВИГАЦИОННЫХ ПРИБОРОВ ПРИМЕНИТЕЛЬНО К ЗАДАЧАМ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО КОНТРОЛЯ МАГИСТРАЛЬНЫХ НЕФТЕГАЗОПРОВОДОВ Мартынов С.А., Херауф Ф.	171
С.72	ПЕРСПЕКТИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ УЗ-КОНТРОЛЯ ТРУБОПРОВОДОВ Самокрутов А.А., Шевалдыкин В.Г.	172
С.73	ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРОМЕТРИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ С ЦЕЛЬЮ ПОВЫШЕНИЯ ДОСТОВЕРНОСТИ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБСЛЕДОВАНИЯ СОСТОЯНИЯ ИЗОЛЯЦИОННЫХ ПОКРЫТИЙ ТРУБОПРОВОДОВ Куклев А.В., Мартынов С.А.	172
С.74	ПРИМЕНЕНИЕ НОВОЙ ТЕХНОЛОГИИ САФТ ПРИ УЗ-ТОЛЩИНОМЕТРИИ ИЗДЕЛИЙ ИЗ БЕТОНА Тимофеев Д.В.	173
С.75	РЕЗУЛЬТАТЫ ПРИМЕНЕНИЯ ПОМЕХОУСТОЙЧИВОЙ ИНТЕРПОЛЯЦИИ ДЛЯ ДИАГНОСТИКИ СОСТОЯНИЯ 4-ГО БЛОКА ЧЕРНОБЫЛЬСКОЙ АЭС ПОСЛЕ КАТАСТРОФЫ Беляев Ю.И., Вент Д.П., Вепренцева О.Н.	175
С.76	ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ РАДИАЦИОННОГО ОБЛУЧЕНИЯ НА ПАРАМЕТРЫ УПРУГИХ ВОЛН Хлыбов А.А., Углов А.Л.	177
С.77	НОВЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ МЕТОДА АКУСТИЧЕСКОЙ ЭМИССИИ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ СЦЕПЛЕНИЯ С БЕТОНОМ АРМАТУРНЫХ СТЕРЖНЕЙ РАЗЛИЧНОГО ПРОФИЛЯ Сагайдак А.И.	179
С.78	ПРИМЕНЕНИЕ КОМПЬЮТЕРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ДЛЯ ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ РЕЗОНАНСНО-МУЛЬТИПЛИКАТИВНОГО МЕТОДА КОНТРОЛЯ ТОЛЩИНЫ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ ИЗ БЕТОНА Авраменко С.Л.	181

С.79	АНАЛИЗ МЕТОДОВ И УСТРОЙСТВ ЛОКАЛИЗАЦИИ ТЕЧЕЙ В КРУПНО-ГАБАРИТНЫХ ИЗДЕЛИЯХ Сажин С.Г., Мясников В.М.	183
С.80	НОВЫЕ АЛГОРИТМЫ ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННОЙ ОБРАБОТКИ СИГНАЛОВ ПРИ УЗ-ТОЛЩИНОМЕТРИИ ИЗДЕЛИЙ ИЗ БЕТОНА Качанов В.К., Соколов И.В., Родин А.Б.	184
С.81	МАЛОАПЕРТУРНЫЕ ШИРОКОПОЛОСНЫЕ МОЗАИЧНЫЕ ПЬЕЗОЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ Качанов В.К., Соколов И.В., Родин А.Б.	186
С.82	КОМПЛЕКСНАЯ ДЕФЕКТОСКОПИЯ БУРИЛЬНОГО ИНСТРУМЕНТА УЛЬТРАЗВУКОВЫМ И ВИХРЕТОКОВЫМ МЕТОДАМИ Шкатов П.Н., Куликов С.С.	188
С.83	ПРИМЕНЕНИЕ АММИАЧНОГО ОТКЛИКА ДЛЯ ВЫЯВЛЕНИЯ ПОВЕРХНОСТНЫХ ДЕФЕКТОВ Беляков А.В., Горбачев А.Н., Березкина Н.Г., Лейпунский И.О.	189
С.84	КОДАК – НОВЕЙШИЕ СИСТЕМЫ КОМПЬЮТЕРНОЙ РАДИОГРАФИИ Шилов О.В.	190
С.85	«GE Everest XLG3™» – ВИДЕОЭНДОСКОП НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ Ефименко В.Г.	190
С.86	«GUL WAVEMAKER™ G3» – УЛЬТРАЗВУКОВОЙ СКАНЕР ДЛЯ КОНТРОЛЯ СОСТОЯНИЯ ОСНОВНОГО МЕТАЛЛА ТРУБ Любич И.А.	190
С.87	«OMNISCAN PA» – ПОРТАТИВНЫЙ ДЕФЕКТОСКОП С ФАЗИРОВАННЫМИ РЕШЕТКАМИ Петушков М.С.	191
С.88	РАБОТЫ НТУ «ХАРЬКОВСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ» В ОБЛАСТИ НК Сучков Г.М., Горкунов Б.М., Тюпа И.В., Авраменко А.А., Десятниченко А.В., Келин А.А., Ноздрачева Е.Л., Хомяк Ю.В., Скопенко В.В., Глебова Л.В., Нестерова И., Тищенко А.А.	191
С.89	РЕШЕНИЕ ВОПРОСОВ МЕТРОЛОГИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ НЕРАЗРУШАЮЩИХ МЕТОДОВ КОНТРОЛЯ ТОЛЩИН ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ПОКРЫТИЙ ДЕТАЛЕЙ ЖРД Калошин В.А., Полушкин Е.А., Бакунов А.С.	194
С.90	КОМПЛЕКСНЫЙ НЕРАЗРУШАЮЩИЙ КОНТРОЛЬ ТОЛСТОСЛОЙНЫХ НИКЕЛЬ-ХРОМОВЫХ ПОКРЫТИЙ ОТВЕТСТВЕННЫХ УЗЛОВ ЖИДКОСТНЫХ РАКЕТНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ Калошин В.А.	195

С.91	ОПЫТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ИМПУЛЬСНЫХ РЕНТГЕНОВСКИХ АППАРАТОВ ДЛЯ КОНТРОЛЯ КОРДОВЫХ ЛЕНТ БЕЗ ОСТАНОВКИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА НА ПРЕДПРИЯТИЯХ ТЭК РЕСПУБЛИКИ СЕРБИЯ Шаренац В.	195
С.92	ОБНАРУЖЕНИЕ СЛАБОГО ИНФОРМАТИВНОГО СИГНАЛА НА ФОНЕ НЕОПРЕДЕЛЕННОЙ ПОМЕХОСИГНАЛЬНОЙ ОБСТАНОВКИ Морозова Т.Ю.	196
С.93	СОВРЕМЕННЫЕ ТРЕБОВАНИЯ К МЕТОДАМ И СРЕДСТВАМ НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ Иванов В.И., Власов И.Э.	197
С.94	ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ СИНТЕЗА ДЛЯ РАЗРАБОТКИ СРЕДСТВ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО КОНТРОЛЯ МЕХАНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК Стеблев Ю.И., Устинов И.К., Тимохин А.В.	198
С.95	СТАНДАРТНЫЕ ОБРАЗЦЫ ДЛЯ НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ ВЕЩЕСТВ И МАТЕРИАЛОВ И ИЗДЕЛИЙ РАЗЛИЧНОЙ ФОРМЫ ДИФРАКЦИОННЫМИ МЕТОДАМИ В РЕНТГЕНОВСКОМ ДИАПАЗОНЕ ДЛИН ВОЛН Гущин Г.В., Коммель И.Л., Кодесс Б.Н.	199
ИМЕННОЙ УКАЗАТЕЛЬ		200

ПЛЕНАРНОЕ ЗАСЕДАНИЕ

П.4. РАЗВИТИЕ НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ И ТЕХНИЧЕСКОЙ ДИАГНОСТИКИ В РЕСПУБЛИКЕ БЕЛАРУСЬ

Мигун Н.П., *Институт прикладной физики НАН Беларуси, Минск, Беларусь*

В докладе дана краткая характеристика различных направлений деятельности в области неразрушающего контроля и технической диагностики в Республике Беларусь.

Республика Беларусь обладает сравнительно высоким среди стран СНГ уровнем развития промышленности, развитой системой магистральных газо- и нефтепроводов, трубопроводов, широкой железнодорожной сетью. Ее промышленный потенциал характеризуется десятками крупнейших машиностроительных предприятий («БЕЛАЗ», «МАЗ», «МТЗ», «Гомсельмаш» и многие другие), современными нефтеперерабатывающими предприятиями («НАФТАН», Мозырский нефтеперерабатывающий завод), более 10 тысячами километров трубопроводов, десятками тысяч объектов газо- и нефтераспределительных систем, более 5 тысячами километров Белорусской железной дороги. Все это – лишь небольшая часть промышленных и транспортных предприятий, остро нуждающихся в современных средствах *технической диагностики* (ТД) и *неразрушающего контроля* (НК) для повышения качества и конкурентоспособности своей продукции и обеспечения надежности и безопасности функционирования сложных технических систем. Поэтому в стране на государственном уровне традиционно уделяется пристальное внимание развитию фундаментальных и прикладных научных исследований в области ТД и НК, которые проводятся в рамках различных государственных программ и отдельных проектов.

Важнейшей из таких программ является *государственная комплексная программа научных исследований* (ГКПНИ) «Техническая диагностика» на 2006–2010 годы, сконцентрировавшая наиболее актуальные научные проекты в области НК и ТД, в решении которых заинтересованы многие отрасли народного хозяйства страны. Государственные заказчики программы – Национальная академия наук и Министерство по чрезвычайным ситуациям Беларуси. Научные исследования сосредоточены, прежде всего, в НАН Беларуси и университетах страны. Функции головной организации по ГКПНИ «Техническая диагностика» выполняет Институт прикладной физики НАН Беларуси, где развиваются практически все методы НК. Он же является и головной организацией в области НК и ТД в Беларуси в целом.

Основной целью программы является проведение исследований закономерностей взаимодействия физических полей и веществ с материалами, элементами конструкций, другими объектами, направленных на развитие физических принципов и разработку новых высокоэффективных и конкурентоспособных методов, средств и информационных технологий НК и ТД, адаптированных к продукции и объектам народного хозяйства Республики Беларусь и обеспечивающих повышение их качества, безопасности эксплуатации и функционирования. В рамках 39 заданий программы выполняются исследования по всем методам НК. Результаты даже промежуточных исследований большинства работ находят практическое применение с заключением хозяйственных договоров с предприятиями страны. Ряд проектов выполняется в сотрудничестве с учеными Германии, России, Финляндии и других стран.

В Научный совет ГКПНИ «Техническая диагностика» входят ведущие ученые и специалисты страны соответствующего профиля, в том числе крупнейших промышленных предприятий Беларуси. Уместно отметить важную роль в решении проблем сертификации,

метрологии и стандартизации в области НК и ТД, которую играет Госстандарт РБ, председатель которого В.Н.Корешков является заместителем председателя Научного совета по ГКПНИ «Техническая диагностика».

Целый ряд разработок в области НК создан и по различным государственным научно-техническим программам, цель которых не только разработка и создание, но и внедрение с соответствующими планами освоения в народном хозяйстве современных приборов, установок и технологий. Это программы «Эталоны Беларуси», «Сварка», «Технологии и оборудование машиностроения», «Оптика, электроника, информатика», «Приборы для научных исследований» и др. Например, в рамках программы «Эталоны Беларуси» в ИПФ НАН Беларуси создан Национальный эталон магнитной индукции.

Подготовку кадров в области НК и ТД в Беларуси осуществляет целый ряд университетов. Прежде всего, это Белорусско-Российский университет (г. Могилев), который осуществил уже 21 выпуск дипломированных специалистов по специальности «Методы и приборы контроля качества и диагностики состояния объектов». Для Российской Федерации этот университет готовит специалистов по российским учебным программам. В 2007 г. успешно завершили обучение по этой специальности и первые две группы выпускников в Белорусском национальном техническом университете, где несколько лет назад две кафедры на разных факультетах (приборостроительном и машиностроительном) ввели профильные специальности в области НК и ТД. Готовится первый выпуск и в Белорусском государственном университете транспорта. Кроме того, курсы лекций по НК и ТД читаются в Белорусском государственном аграрном техническом университете и Белорусском государственном технологическом университете.

Важным элементом подготовки квалифицированных специалистов по НК и ТД является деятельность в области сертификации компетентности персонала. В настоящее время в Беларуси действуют два органа по сертификации компетентности персонала по НК. Оба они расположены в Минске, один – в Белорусском государственном институте повышения квалификации по стандартизации, метрологии и управлению качеством Госстандарта РБ, второй – в Республиканском институте высшей школы (этот орган создан совместно с органом по аттестации персонала «СертиНК» МГТУ им. Н.Э. Баумана). Первый из них в 2007 г. расширил область своей деятельности на тепловой неразрушающий контроль и контроль напряженно-деформированного состояния (соответствующий аттестат аккредитации выдан Госстандартом РБ в сентябре 2007 г.). Впервые в стране в учебном центре при ИПФ НАН Беларуси начато обучение по этим методам.

Важную организационную и координирующую роль в практической работе в области НК и ТД играет Белорусская ассоциация неразрушающего контроля и технической диагностики (БАНК и ТД), основанная в 1993 году и являющаяся одним из членов-учредителей Европейской федерации по НК (EFNDT). Основными целями этой Ассоциации является содействие повышению качества, конкурентоспособности, надежности и безопасности продукции, выпускаемой и эксплуатируемой в Республике Беларусь, привлечение научно-технического и кадрового потенциала Республики Беларусь для создания новых методов и технических средств НК и ТД, обучения персонала. Осуществляется информационное обслуживание членов БАНК и ТД, предприятий и организаций страны по неразрушающему контролю и диагностике посредством издания информационных бюллетеней, проведения выставок, конференций, семинаров. Например, в мае 2007 г. совместно с Проматомнадзором МЧС РБ и рядом организаций и объединений был организован и успешно проведен Первый республиканский конкурс по неразрушающему контролю на присвоение звания «Лучший специалист неразрушающего контроля Республики Беларусь 2007 года».

Широкую известность далеко за пределами Беларуси имеют достижения белорусской школы физики НК в области магнитных, акустических, капиллярных и ряда других методов контроля. Последние годы особенно активно развиваются направления исследований, основанные на использовании современных информационных технологий как для расширения возможностей уже существующих средств и технологий НК и ТД, так и для разработки новых, например, в областях реконструктивной томографии объектов, ранней диагностики электрических машин и др. Одним же из наиболее актуальных направлений исследований является разработка методов и средств оценки остаточного ресурса промышленных объектов. Проекты в этом направлении имеют приоритетное значение в рамках всех научных исследований в области НК и ТД, а результаты их выполнения востребуются большинством отраслей промышленности страны.

П.5. МАГНИТНЫЕ МЕТОДЫ КОНТРОЛЯ ИЗДЕЛИЙ Порошковой МЕТАЛЛУРГИИ

Горкунов Э.С., Институт машиноведения УрО РАН, Екатеринбург, Россия

Технология порошковой металлургии позволяет изготовить материалы с уникальными физико-механическими характеристиками, которые невозможно получить другими методами, например твердые вольфрамокобальтовые сплавы, самосмазывающиеся пористые подшипники скольжения, высокоэнергоемкие постоянные магниты на базе редкоземельных элементов и др. Однако самым широким классом материалов, изготавливаемых по технологии порошковой металлургии, остаются изделия из конструкционных углеродистых сталей на основе железных порошков и режущий инструмент из вольфрамокобальтовых сплавов.

Одной из особенностей технологии порошковой металлургии является возможная нестабильность свойств изделий даже в пределах одной партии. Отсюда вытекает необходимость разработки методов контроля, позволяющих экспрессно оценивать качество спеченных порошковых изделий на различных этапах технологического процесса. Этим требованиям удовлетворяют физические методы неразрушающего контроля.

Методы неразрушающего контроля предполагают установление однозначной взаимосвязи между электрическими, акустическими, магнитными, другими физическими свойствами и контролируемыми параметрами сталей и сплавов. В результате по данным измерений тех или иных физических характеристик удастся на основе корреляционных связей определить структурное состояние, прочностные характеристики контролируемых изделий. В практике структуроскопии традиционных компактных (литых) сталей широкое распространение получили неразрушающие магнитные методы контроля структурного состояния и прочностных характеристик изделий. Однако простой перенос методов неразрушающего контроля, разработанных для компактных сталей, на порошковые стали, вследствие особенностей структурного состояния последних, невозможен и требует разработки специальных методик контроля.

В данном докладе обобщены результаты исследований по определению возможности контроля структурного состояния, остаточной пористости, прочностных характеристик и других свойств изделий порошковой металлургии различного назначения с помощью магнитных методов. Также приведены результаты оценки упругопластической деформации в изделиях порошковой стали магнитными методами.

П.6. УЛЬТРАЗВУКОВОЙ КОНТРОЛЬ БЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ ИЗ НАПРЯЖЕННОГО БЕТОНА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВИЗУАЛИЗИРУЮЩИХ МЕТОДОВ

Мильман Б., Краузе М., Миленц Ф., Фризе М., Виггенхаузер Г., *БАМ, Берлин, Германия*,
Майер К., *Университет Касселя, Германия*

Дефектоскопия бетона и особенно напряженного бетона является приоритетной задачей при строительстве и эксплуатации мостовых сооружений в гражданском строительстве. Определение непроливов или дефектов при запрессовке каналов для напряженного бетона и особенно автоматизация измерений стали возможны благодаря появлению на мировом рынке революционных разработок фирмы «Акустические контрольные системы» МНПО «Спектр». Неразрушающий контроль в строительстве, учитывая размеры площадей и наличие только ультразвуковых преобразователей с жидким контактом, являлся до недавнего времени практически неразрешимой задачей. Эта проблема была решена с появлением преобразователей с сухим точечным контактом.

Автоматизация дефектоскопии крупноструктурных материалов, в частности бетона, стала возможной после разработок институтом БАМ сканеров, программ и методов контроля.

Особенной задачей при дефектоскопии напряженного бетона является определение наличия пустот (незапрессованные участки в каналах напряженной арматуры) в напряженных каналах мостов.

В БАМе совместно с университетом г. Касселя была разработана методика определения фазы отраженного сигнала, что дало возможность различать в бетоне материал отражателя. В силу этого появилась возможность определить характер отражателя и заглянуть в каналы напряженной арматуры, что в принципе сделало непрозрачный бетон почти прозрачным, как стекло.

П.7. РАЗРАБОТКИ ИЭС ИМ. Е.О. ПАТОНА В ОБЛАСТИ НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ

Патон Б.Е., Троицкий В.А., *Институт электросварки им. Е.О. Патона НАН Украины, Киев, Украина*

Придавая важное значение развитию неразрушающего контроля (НК) в сварочном производстве, в ИЭС им. Е.О. Патона в 1955 г. была создана лаборатория физических методов НК качества сварных соединений, которая впоследствии выросла в большой научный (№ 4) и два конструкторских (№ 179 и 232) отдела. За эти годы было спроектировано и внедрено много различного оборудования и технологий НК. В реестре ОКТБ ИЭС около 100 проектов различных устройств, дефектоскопов и установок автоматического контроля, разработанных и внедренных во многих отраслях промышленности.

Наиболее известными разработками ИЭС им. Е.О. Патона в области НК являются автоматизированные установки для ультразвукового контроля (АУЗК) качества сварных соединений труб различного диаметра. Такие установки работают на трубных и металлургических заводах, трубосварочных базах, на строительстве магистральных трубопроводов России и Украины. Только в 2007 г. были поставлены на Харцызский трубный и Выксын-ский металлургические заводы три установки различного типа для АУЗК труб большого диаметра, производимые для магистральных газопроводов. Подобные установки и технологии ультразвукового контроля были разработаны в свое время для гильз цилиндров дизельных двигателей, буровых долот, узлов ветроэнергетических установок, металла и

сварных соединений ракет из легких сплавов и композитных материалов. Много внимания в ИЭС уделяется комплексному контролю разнообразных изделий и сооружений, включающих сочетание нескольких физических методов, повторяющихся по определенной логике в начале, в процессе и при окончании изготовления ответственной продукции.

Совершенно новые технологические возможности предоставляют появившиеся в последнее время компьютеризированные дефектоскопы, которые позволяют обрабатывать большие объемы информации. Компьютеризация ультразвукового контроля позволила создать технологии точного определения расположения и размеров внутренних несплошностей. Используя явления дифракции акустических волн на острых углах дефектов (TOFD), синтезированной фокусирующей апертуры (SAFT), удалось значительно поднять уровень УЗК в определении точности измерения глубоко залегающих дефектов сложной формы. Эти достижения существенно продвинули УЗК и сократили объемы применения радиографии.

В последние годы в ИЭС совместно с Британским институтом TWI проводятся исследования низкочастотного УЗК протяженных объектов, что позволяет на газонефтепроводах на порядок повысить производительность УЗК.

Новая страница в УЗК сварных соединений и толщинометрии открывается применением электромагнитоакустической (ЭМА) технологии, которая производится без зачистки поверхности изделия, при наличии на поверхности изоляции, без применения контактной среды. Первые промышленные испытания ЭМА-метода для УЗК сварных швов, выполненные в ИЭС, подтвердили его эффективность, возможность создания особых УЗ-волн с горизонтальной поляризацией УЗ-колебаний, исключающих влияние на результаты УЗК валика усиления шва, наличия на поверхности брызг, остатков изоляции, грунта и пр., что пока затрудняет УЗК при пьезотехнологии.

Значительное внимание уделяется в Институте использованию метода акустической эмиссии и голографической интерферометрии для оценки напряженно-деформированного состояния сварных металлоконструкций, которые успешно развиваются под руководством акад. НАНУ Л.М. Лобанова, проф. А.Я. Недосеки, проф. О.И. Гуца.

В области радиационного контроля в ИЭС совместно с другими организациями выполнены разработки по созданию рентгеновских детекторов с малым содержанием серебра, рентгенотелевизионных систем с улучшенными технологическими возможностями для автоматической дешифровки и регистрации изображений, было создано много различных типов портативных радиометров и дозиметров.

В последние годы ведутся работы по созданию систем как цифрового радиационного контроля, включающего обработку рентгеновских пленок, кремниевых, фосматических промежуточных носителей, так и радиоскопических систем на основе флюоресцирующих монокристаллов и ПЗС-матриц.

В институте создана единственная в Украине высокоэнергетическая с биологической защитой до 18 МэВ радиационная лаборатория, в которой можно проводить просвечивание изделий большой толщины с использованием мощных рентгеновских аппаратов и бетатронов.

Заслуживают внимания разработки ИЭС им. Е.О. Патона в области магнитного контроля, на которые получены многочисленные патенты и авторские свидетельства. Это многоцелевой дефектоскоп для сварных соединений со сложной геометрией и неравномерной формой поверхности; дефектоскоп на основе сварочного источника тока; различные портативные намагничивающие устройства на постоянных магнитах, в том числе с плавнорегулируемым магнитным потоком и магнитами, катящимися по поверхности изделия вдоль сварного соединения, и т.д.

Для контроля герметичности сварных соединений разработаны различные физико-химические сенсоры, создан ряд установок и комплектов оборудования, в частности комплекты накладных вакуумных камер с односторонним доступом к объекту.

Институт постоянно выполняет большие объемы работ по неразрушающему контролю и техническому диагностированию резервуаров, трубопроводов, сосудов, работающих под давлением, грузоподъемных механизмов, котлов, несущих конструкций ответственных объектов.

Традиционны для ИЭС разработка стандартов и другой нормативной документации, издание книг и наглядных пособий по неразрушающему контролю сварных соединений. В последние годы было гармонизировано порядка 40 европейских стандартов по НК с участием других организаций, издано 4 книги, 18 учебно-методических плакатов.

Многие годы институтом издается научно-технический журнал НАН Украины «Техническая диагностика и неразрушающий контроль». ИЭС предоставил все условия для работы Украинского общества неразрушающего контроля и технической диагностики и Технического комитета № 78 по стандартизации в области технической диагностики и неразрушающего контроля. В институте ежегодно проводятся конференции и выставки по НК.

Разработки ИЭС им. Е.О. Патона и ряда ведущих организаций страны в области НК в 2007 г. были отмечены Государственной премией Украины.

П.8. П.К. ОЩЕПКОВ – К 100-ЛЕТИЮ СО ДНЯ РОЖДЕНИЯ

Матвеев В.И., ЗАО «МНПО «Спектр», Москва, Россия



В 2008 г. исполняется 100 лет со дня рождения Павла Кондратьевича Ощепкова – ученого, инженера и изобретателя. Его отличали широта интересов и острый аналитический ум. Он явился инициатором и одним из создателей отечественной радиолокации, нового научно-технического направления – интроскопии и активным сторонником работ по энергоинверсии, т.е. использованию энергии окружающей среды.

В 1931 г. П.К. Ощепков окончил Московский энергетический институт. В 1932 г., находясь в рядах Красной Армии, в Псковском зенитно-артиллерийском полку, он высказал идею о применении электромагнитных волн радиодиапазона для обнаружения самолетов. В феврале 1934 г. в журнале «Противовоздушная оборона» (сб. 2, с. 23–28) была опубликована его статья «Современные проблемы развития техники противовоздушной обороны», ставшая первой статьей о радиолокации в Советском Союзе. Идея радиобнаружения самолетов, высказанная и подтвержденная экспериментально П.К. Ощепковым, с годами воплотилась в жизнь многими талантливыми инженерами и учеными, прежде всего Ю.Б. Кобзаревым, П.А. Погорелко, Н.Я. Чернецовым, Б.К. Шембелем, В.В. Цимбалиным. Известные академики А.Ф. Иоффе и А.И. Берг, безусловно, внесли огромный вклад в становление и дальнейшее развитие отечественной радиолокации.

В послевоенные годы П.К. Ощепков создает новое научно-техническое направление – интроскопию, работая в электрофизической лаборатории Института металлургии АН СССР, 1954 – 1964 гг., затем в организованном с его помощью Институте интроскопии Министерства приборостроения СССР, 1964 – 1970 гг.

Основная идея интроскопии заключалась в объединении широкого спектра проникающих излучений и полей для целей внутривидения, неразрушающего контроля и диагностики с использованием новых принципов матричного преобразования пространственно распределенных физических полей и созданием адекватного электрического потенциального рельефа с последующим электронно-лучевым считыванием и получением изображений.

В последние годы своей жизни П.К. Ощепков занимался проблемой энергоинверсии, создав Общественный институт ЭНИН. Перспектива прямого преобразования тепловой энергии в электрическую интересует многих его последователей.

Более подробные сведения о жизни и вкладе в науку и технику П. К. Ощепкова можно получить из приведенной ниже литературы.

Литература

1. **Ощепков П.К.** Жизнь и мечта. Изд. 4-е. М.: Московский рабочий, 1984. 320 с.
2. **Сергиевский Б.Д.** Первая статья о радиолокации в Советском Союзе // Вопросы истории естествознания и техники. 1990. № 4. С. 32–38.
3. **Лобанов М.М.** Развитие советской радиолокационной техники. М.: Воениздат, 1982. 239 с.
4. **Кобзарев Ю.Б.** Первые шаги советской радиолокации // Природа. 1985. № 12. С. 72–82.
5. **Хорошилов П.Е.** Это начиналось так... М.: Воениздат, 1970. 68 с.
6. **Матвеев В.И.** П.К. Ощепков. К 100-летию со дня рождения // Контроль. Диагностика. 2008. № 2. С. 3–7.

II.9. О РОЖДЕНИИ РАДИОЛОКАЦИИ

Голотюк В.Л., *Институт военной истории МО РФ, Москва, Россия*

К 100-летию со дня рождения доктора технических наук, профессора, заслуженного деятеля науки и техники РСФСР, заслуженного изобретателя РСФСР Павла Кондратьевича Ощепкова следует показать одну из важнейших его заслуг – вклад в рождение радиолокации в нашей стране.

Обратился к этой проблеме двадцатичетырехлетний инженер-энергетик П.К. Ощепков в апреле 1932 г., когда был призван в ряды Красной Армии и попал служить в Псковский зенитный артиллерийский полк для овладения теорией и практикой зенитной стрельбы и получения звания командира запаса РККА. В процессе освоения зенитной стрельбы будущий офицер глубоко прочувствовал основы действий по скоростным воздушным целям и понял, что прежде всего требуется увеличение дальности обнаружения воздушных целей. Кроме этого, цели в воздухе должны обнаруживаться ночью, в тумане, при полете их в облаках, чего не могли обеспечить существовавшие оптические приборы.

В июле 1932 г. в период посещения полка инспектором Управления ПВО РККА И.Ф. Блажевичем и сопровождающими его лицами П.К. Ощепков по представлению командира полка изложил перед руководителями противовоздушной обороны свои подходы к проблеме обнаружения воздушных целей. Как вспоминал позже Павел Кондратьевич: «Я стал с жаром доказывать (с резко выраженной скороговоркой), что дать ключ к решению проблемы может только переход к принципиально новым методам, основанным на использовании энергии, посылаемой самим наблюдателем... Тогда еще не было ясно, каким путем надо решать эту задачу на подобной основе, не представлялись даже контуры той новой техники...». 11 ноября 1932 г. окончивший курсы красных командиров и полу-

чивший звание командира взвода П.К. Ощепков был переведен в Москву на должность инженера экспертно-технического сектора Управления ПВО. Здесь он с присущей ему энергией приступил к изучению и решению проблемы радиообнаружения самолетов для службы воздушного наблюдения, оповещения и связи (ВНОС) противовоздушной обороны. В Управлении ПВО нашлось много грамотных командиров, которые поддерживали молодого инженера. П.К. Ощепков анализировал все сообщения о применении радиоволн в нашей стране и за рубежом, начиная с «радиотени», обнаруженной еще в 1897 г. А.С. Поповым, а также последующие опыты Б.Л. Розинга, Л.И. Мандельштама и Н.Д. Папалекси, применение радиоволн для определения высоты «слоя Хевисайда» и др. К 1933 г. П.К. Ощепков идею о возможности использования радиоволн для обнаружения самолетов в воздухе оформил письменно. При этом обосновывалась идея применения для этих целей метода импульсного излучения радиоволн вместо непрерывного, в связи с тем что для увеличения дальности обнаружения самолетов при непрерывном методе излучения потребуется значительное повышение мощности излучения...

18 июня 1933 г. докладная записка о принципах использования радиотехнических средств для обнаружения самолетов в системе ПВО и об организации научно-исследовательских работ по этому вопросу была представлена наркому обороны. Вскоре П.К. Ощепков и руководители ПВО были приняты наркомом обороны К.Е. Ворошиловым и его заместителем М.Н. Тухачевским, ведавшим вопросами вооружения и новой техники. Было принято решение без раскачки организовать исследования проблемы с привлечением при необходимости видных ученых, промышленные и отраслевые институты. **С июня 1933 г. идея радиообнаружения воздушных целей в нашей стране стала государственной идеей, государственным делом.**

В августе 1933 г. с официальным письмом от Наркомата обороны П.К. Ощепков был принят в Ленинграде президентом Академии наук СССР А.П. Карпинским и по его рекомендации академиками А.Н. Крыловым и С.И. Вавиловым. Крупнейшие ученые страны поддержали выдвинутую идею использования электромагнитных излучений для обнаружения самолетов и предложили обсудить ее на совещании в Академии наук СССР.

По возвращении из Ленинграда Павел Кондратьевич представил перечень организационных мероприятий по практическому решению задач. В план научно-исследовательских работ по Управлению ПВО на 1933 г. была включена тема «Разведывательная электромагнитная станция ВНОС». 22 декабря 1933 г. приказом № 2212 начальника Управления ПВО РККА в его непосредственном подчинении был создан Временный научно-технический комитет (НТК) ПВО для руководства научно-исследовательской деятельностью в области противовоздушной обороны. Исполнение обязанностей председателя комитета было возложено на первого заместителя начальника Управления ПВО И.Ф. Блажевича, П.К. Ощепков назначен управляющим делами комитета и председателем секции средств управления с освобождением от исполнения прежней должности. 4 января 1934 г. в докладной записке «Парциальное излучение и модуль № 2» П.К. Ощепков изложил принцип действия импульсной установки радиообнаружения самолетов. Одновременно в записке была высказана идея создания радиолокационной системы (РЛС) кругового обзора, определяющей две координаты воздушной цели – азимут и дальность.

В это же время исследованиями возможностей использования радиоволн дециметрового диапазона занимался инженер Центральной радиолaborатории (ЦРЛ) Ю.К. Коровин, который в октябре 1933 г. приступил к планомерным исследованиям по радиообнаружению самолетов аппаратурой связи на дециметровых волнах (ДЦВ) в интересах Главного артиллерийского управления (ГАУ). Опыты ЦРЛ, выполненные в январе 1934 г. под руководством инженера Ю.К. Коровина, подтвердили возможности обнаружения самолетов радиотехническим методом в диапазоне ДЦВ. В 1934 г. исследования в области подготов-

ки и создания средств радиобнаружения вовлекли значительный круг ученых и инженеров многих научно-исследовательских институтов и лабораторий. Работы по радиобнаружению по заданиям ГАУ и Управления ПВО дополняли друг друга.

16 января 1934 г. в Ленинградском физико-техническом институте под руководством акад. А.Ф. Иоффе было проведено совещание с обсуждением практических шагов по созданию аппаратуры радиобнаружения. В протоколе совещания было записано: *«Из технических средств, могущих обеспечить в наискратчайший срок разработку приборов, обеспечивающих обнаружение самолетов в названных условиях, могут явиться приборы, построенные на принципе использования электромагнитных волн достаточно короткой длины волны»*. Таким образом, **выдвинутая и обоснованная П.К. Ощепковым идея обнаружения самолетов с помощью электромагнитных волн, получившая позже наименование радиолокации, впервые в мире была оформлена и поддержана в нашей стране.**

К июлю 1934 г. коллективом ЛЭФИ (Б.К. Шембель, А.Н. Мержиевский, Р.Р. Гаврук) была разработана радиоаппаратура «Рапид» на основе использования непрерывного излучения. Эта аппаратура послужила основой для дальнейших разработок системы радиобнаружения «Ревень», которая в октябре–декабре 1937 г. проходила первые испытания под Москвой, а позже была принята на вооружение под наименованием РУС-1.

Велись также работы по созданию станции дальнего обнаружения на УКВ с импульсной аппаратурой, разрабатываемой с 1936 г. ЛФТИ и КБ Управления ПВО. Уже 15 апреля 1937 г. под Москвой были проведены первые испытания этой аппаратуры. 26 июля 1940 г. двухкабинный вариант импульсной радиолокационной станции «Редут-40» принят на вооружение под наименованием РУС-2.

Однако 8 июля 1937 г. Павел Кондратьевич был арестован по надуманному обвинению «в поддержке троцкистской платформы» (а фактически – по так называемому «делу Тухачевского»). Лишь 17 декабря 1939 г. по ходатайству наркома обороны изобретатель был досрочно освобожден и доставлен в Москву, но к работам по радиолокации он не приступил. Его увлекла проблема создания приборов ночного видения.

П.10. СЛОВО ОБ УЧЕНОМ – ЗЕМЛЯКЕ

Барсуков В.К., ГОУ ВПО ИжГТУ, Ижевск, Россия

На долю Павла Кондратьевича Ощепкова с детства выпало немало жизненных испытаний. Самые ранние его воспоминания: огонь вокруг, когда от пожара он скрывался в подполье; лицо матери, когда она крест накрест забивала досками окна полуобгоревшей избы. Отец, уходящий на заработки, которые стоили ему жизни, потом длинная дорога по камским берегам в поисках любой работы, когда они с матерью спасались от голода. Рев и слезы на пристанях, где провожали мужиков на германскую войну. Смерть матери и хозяйки Дарьи Матвеевой, приютившей семью, долгие годы скитания по Волге и Каме, по Каспию и Уралу. Нижний Новгород, Пермь, Астрахань, Баку, Дербент, Красноводск – все и не перечислить.

Холодной осенью 1920 г. на пристани Оханск маленького беспризорника задержал матрос и отвел в детский приемник. Начались беседы, расспросы, кто да откуда. Зовут Павел. А как фамилия? Звали Падыш, белоногий, значит, Олены сын, отца звать Кондратий. А фамилия? Мы – голодранцы... В деревне еще так называли нас..., мамка сказывала. Так и записали: Голодранцев Павел Кондратьевич. Возраст – больше десяти..., место рождения – Теплые Ключи на Каме.

Его устроили в Шалашинскую школу «Трудовую коммуну имени III Интернационала». Впервые посадили за парту, дали в руки букварь..., потом узнали и фамилию – Ощепков, тринадцати лет. Так началась новая жизнь Павла Кондратьевича Ощепкова.

В коммуне было много интересного: кроме классных занятий работали в собственном подсобном хозяйстве, в мастерской обучали шить и ремонтировать обувь, шить одежду, изготавливать настоящую гончарную посуду, но самым интересным было слесарное дело. Как весенний росток, напоенный талой водой, выстреливает под теплыми лучами весеннего солнца, так и талант Павла Кондратьевича начинает раскрываться в умелых руках воспитателей и учителей трудкоммуны.

За два последних года учебы он успевает проработать материал четырех лет, становится председателем школьного исполкома, секретарем ячейки ВЛКСМ, душой школьной художественной самодеятельности. А после поездки трудкоммуновцев на Волховскую ГЭС у него родилась мечта – стать инженером-электриком.

В жизни Павлу Кондратьевичу довелось общаться со многими известными учеными, военными, общественными и политическими деятелями. Одна из таких встреч - с Надеждой Константиновной Крупской в Комиссариате народного просвещения, куда была направлена рекомендация Ощепкову после окончания им рабфака в Перми.

Еще в пору скитаний Павлу довелось слушать лекцию Н.К. Крупской на Камском агитационном пароходе «Красная звезда». С мальчишками он крутился под экраном немого кино в надежде увидеть тех, кто бежит за экраном. При встрече он рассказал об обстоятельствах этого давнего знакомства. Оказалось, и Крупская не забыла любопытных мальчишек, посыпались вопросы, воспоминания, и она взялась хлопотать за молодого человека: позвонила в Замоскворецкий райком комсомола, попросила устроить выпускника рабфака в общежитие Института народного хозяйства им. Плеханова и посодействовать ему в поступлении на электротехнический факультет. Так сбылась первая мечта Павла Кондратьевича.

Впереди были годы учебы, первые самостоятельные шаги в инженерной и научной деятельности, служба в армии, первые изобретения и опыты по радиообнаружению, успехи, неудачи и длинная полоса забвения с ее тяготами и раздумьями.

В родные Теплые Ключи Павлу Кондратьевичу удалось попасть только через многие годы. И новое направление научной деятельности – интроскопия, награды, научное и общественное признание – все это придет значительно позднее. А потом снова поворот в судьбе и новая мечта – энергоинверсия, проблема концентрации энергии.

Помимо высоких наград и званий Павлу Кондратьевичу на малой Родине, в Удмуртии, присвоено звание «Почетный колхозник» колхоза «Кама» Каракулинского района. По приглашению местного историка-краеведа Токмурзина Роберта Ильича, Ощепков несколько раз приезжал на встречи с односельчанами, долгие годы переписывался с земляками.

В г. Сарапуле, где также бывал и выступал проф. Ощепков, в доме-музее акад. Н.В. Мельникова хранится архив с документами о П.К. Ощепкове, его переписка с акад. Н.В. Мельниковым, письма Д.Ф. Устинову.

В 1978 г. Павел Кондратьевич приезжал в Шалашинскую школу, где учился, встречался с учениками и преподавателями, подарил свою книгу «Жизнь и мечта». Навещал свою бывшую учительницу М.С. Сукрушеву. О посещении школы имеются воспоминания бывшего директора – Н.С. Юговой.

На здании детского городка в Оханске установлена мемориальная доска в память его воспитанника, почетного жителя города Оханска, д-ра техн. наук, проф. П.К. Ощепкова.

Народным писателем Удмуртии Самсоновым С.А. (1931–1993) написана документальная повесть «Судьба-мачеха», посвященная П.К. Ощепкову, а известным литератором З.А. Богомоловой, которая переписывалась с П.К. Ощепковым и бывала у него в Москве, опубликован очерк «Это не сказка» (Голоса эпохи. Ижевск, 2003), статья «Наш земляк» (Удмуртская правда). Писал о своем земляке доцент кафедры общей физики Удмуртского

государственного университета Е.А. Ирисов, им к 75-летию юбилею П.К. Ощепкова опубликована статья «Ученый, изобретатель» (Удмуртская правда. 1983. 28 июня).

Последний раз Павел Кондратьевич был в Ижевске в начале июня 1985 г. Состоялась встреча с широкой научной общественностью и студентами, где разговор шел о нетрадиционных возобновляемых источниках энергии и методах преобразования энергии.

Отмечая 100-летие со дня рождения выдающегося российского ученого и изобретателя, следует отметить, что, несмотря на весь драматизм его жизни, путеводной звездой Ощепкова всегда была мечта: она давала ему силы, позволяла побеждать и преодолевать, казалось бы, непреодолимое. Павел Кондратьевич написал очень умную книгу, адресованную будущим поколениям, – его мемуары «Жизнь и мечта» и теперь, спустя многие десятилетия, актуальны для «юношей, обдумывающих жите».

В сентябре 2008 г. в Ижевском государственном техническом университете состоится V Всероссийская конференция «Приборостроение в 21 веке», посвященная 100-летию со дня рождения нашего выдающегося земляка.

П.11. ЖИЗНЬ И МЕЧТА П.К. ОЩЕПКОВА

Климов К.М., ИМЕТ РАН, Москва, Россия

Павел Кондратьевич Ощепков – выдающийся ученый, инженер, изобретатель XX века. В жизни ему пришлось пережить немало тяжелейших испытаний (политические репрессии, тюрьма, ссылка). Однако неукротимая воля, оптимизм, природный ум и яркий талант первооткрывателя помогли ему пройти все испытания и достичь замечательных результатов мирового уровня.

Радиолокация и интроскопия – весьма близкие отрасли знаний и техники как по целенаправленности действия, так и по технике и методике исполнения. Созданный П.К. Ощепковым первый в мире научно-исследовательский институт интроскопии превратился в мировой центр «внутривидения», включая все виды диагностики, контроля и испытаний. Первая мечта П.К. Ощепкова – радиолокация и интроскопия воплотилась еще при его жизни. При этом он неоднократно подчеркивал, что указанные отрасли не могут стоять на месте, а должны постоянно развиваться на основе использования новейших достижений науки и техники, может быть, на первый взгляд, и далеких от конкретной задачи. Действительно, в последние десятилетия в квантовой физике обнаружены удивительные свойства пространственно расщепленных волн элементарных частиц. Эти результаты, несомненно, могут быть использованы, в частности, для целей интроскопии в широком понимании этого слова.

Другая мечта П. К. Ощепкова, не воплотившаяся в реальность, будет также широко и плодотворно служить человечеству, как радиолокация и интроскопия. Речь идет о поисках и разработке альтернативных, экологически чистых и неисчерпаемых источников энергии, которым, как известно, принадлежит огромное будущее.

П.12. О РАЗВИТИИ ИДЕЙ П.К. ОЩЕПКОВА В ОБЛАСТИ НОВЫХ И ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ

Сидоров М.А., Москва, Россия

Когда профессор Павел Кондратьевич Ощепков (1908 – 1992) совершал очередное открытие в науке, ему обычно говорили оппоненты: «Нет! Такого не может быть никогда!» И каждый раз ошибались...

Так было при рождении радиолокации, интроскопии, бесподсветного ночного видения и особенно физики ультратонких структур и поверхностей (нанофизики) и их использовании в новых технологиях (нанотехнологиях) для энергетики. «Из этих направлений, — писал ученик и соратник профессора, дважды лауреат Сталинской премии И.И. Гвай, — нельзя выхватить ни одного... — они связаны воедино». Да, «они связаны воедино» ключевыми словами-понятиями: энергия и управление ею. Все это плоды творческой судьбы выдающего русского ученого, жившего всегда со своим народом и познавшего вместе с ним в прошлом, героическом и трагическом для России, веке как горечь поражений, так и радость побед.

Радиолокация (дальновидение), в основу которой положена идея сознательно управляемой и направленно действующей энергии радиоволн, привела, с одной стороны, к мысли о создании интроскопии (внутривидения), использующей для проникновения внутрь непрозрачного тела управляемую энергию всего спектра электромагнитных волн, а с другой к замыслу поиска с использованием ультратонких структур и материалов способов управления, преобразования и применения рассеянной, в несчетных количествах присутствующей в окружающей среде, возобновляемой и безопасной тепловой энергии.

В 1959 г. Павел Кондратьевич в предисловии к книге И.И. Гвая «О малоизвестной гипотезе Циолковского» впервые публикует (предложена еще в 1943 г.) концепцию микробарьера (сегодня нанобарьера) как основу, принцип возможной организации однонаправленного движения электронов (электротока) в замкнутой системе (схеме), состоящей из микропроводников (сегодня нанопроводников) и микрополупроводников (сегодня — полупроводниковых наногетероструктур). И здесь же П.К. Ощепков говорит о необходимости исследования процессов биоэнергетики живой клетки для дальнейшего развития и обоснования этой концепции как основы создания новой технологии для энергетики будущего (наноэнергетики). Сегодня эти идеи воплощены в жизнь и получили дальнейшее развитие (радиолокация, интроскопия и бесподсветное ночное видение), им уделяют особое внимание, создают инфраструктуры для развития в нашей стране nanoфизики, нанотехнологии и nanoэнергетики (например, Госконцерн «Роснано»).

Созданная выдающимся ученым и изобретателем новая научная школа исследователей физико-технических проблем современной энергетики сегодня также плодотворно действует. Например, разработаны и опубликованы нанобиофизическая, математическая и nanoфизическая модели генерации живой клеткой электроэнергии, которые легли в основу создания технологии принципиально новой, автономной, безопасной, особозффективной и возобновляемой nanoэнергетики, в том числе нанобатарей для ноутбуков, сотовых телефонов и других мультимедийных устройств.

Возглавляющий сегодня созданную П.К. Ощепковым научную школу академик РАЕН С.В. Цивинский предложил и недавно обосновал использование известного в природе ядерного процесса «е-захвата» (захват ядром атома своего электрона) в качестве нового источника энергии для кавитационных ядерных электростанций (получен патент). Процесс «е-захвата» предложен также С.В. Цивинским в качестве механизма круговорота энергии и материи во Вселенной, о раскрытии которого мечтал К.Э. Циолковский.

Мечтал об этом и великий русский ученый и изобретатель, кавалер орденов Ленина, Октябрьской Революции и Трудового Красного Знамени, заслуженный работник науки и техники, заслуженный изобретатель РФ, доктор технических наук, профессор Павел Кондратьевич Ощепков, 100-летие со дня рождения которого мы сегодня отмечаем.

Секция 1. ТЕХНОГЕННАЯ ДИАГНОСТИКА

1.1. ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ МАГНИТНЫХ МЕТОДОВ НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ

Горкунов Э.С., *Институт машиноведения УрО РАН, Екатеринбург, Россия*

Мужицкий В.Ф., *ЗАО «НИИИИ МНПО «Спектр», Москва, Россия*

Применение магнитных методов определения дефектов сплошности и структуры насчитывает более ста лет. За этот период сформировались три основных области магнитного контроля: контроль дефектов сплошности в ферромагнитных материалах; оценка структурного состояния и прочностных характеристик ферромагнитных сталей и сплавов; определение фазового состава.

В области дефектоскопии можно сказать, что задачи расчета магнитных полей рассеяния основных типов модельных дефектов успешно решены. Но сегодня доминирующую роль играют обратные задачи по восстановлению «образа» дефекта по измеряемой топографии магнитных полей рассеяния от дефекта.

В области магнитной структуроскопии определены основные области применения методов магнитной структуроскопии:

- определение структурного состояния и механических свойств холодного и горячего проката;
- контроль структурного состояния и прочностных характеристик объемно-термически обработанных стальных и чугуновых изделий (отжиг, нормализация, закалка, отпуск и старение);
- оценка напряженного состояния и его изменений в материалах и конструкциях после термической обработки и пластической деформации;
- выявление кристаллографической текстуры, анизотропии механических свойств при штамповке или деформации листового проката;
- контроль структуры, физико-механических свойств и толщины слоев поверхностно упрочненных изделий различными методами (закалка ТВЧ, химико-термическая обработка, упрочнение концентрированными потоками энергии, виброупрочнение, обезуглероживание в стали и отбел в чугуне);
- сортировка изделий по марке, качественная оценка содержания основных легирующих элементов.

В настоящее время большое внимание уделяется вопросам контроля изменений структурного и напряженно-деформированных состояний конструкционных материалов в процессе эксплуатации. В связи с интенсивным освоением северных российских территорий магнитные методы должны быть адаптированы к задачам контроля эксплуатационных изменений параметров конструкционных материалов, работающих при низких температурах.

В области фазового магнитного анализа проведены теоретические и практические исследования, позволяющие производить оценку фазового состава конструкционных материалов, определение пористости в металлокерамических изделиях, выявление парамагнитных и ферромагнитных участков в деталях и элементах конструкций. В качестве перспективных работ следует отметить задачи контроля изменений фазового состава изделий в процессе эксплуатации изделий, работающих в сложных условиях (высокие давления, длительный срок эксплуатации, большой перепад температур, работа в агрессивных средах).

Практическое использование магнитных методов контроля невозможно без создания первичных преобразователей, методик преобразования измеряемого параметра в электрический сигнал и обработки полезного сигнала. В этой части, как и в других методах неразрушающего контроля, важное значение имеют работы по совершенствованию способов получения информации, ее накопления, обработки, архивирования и документирования.

1.2. СИСТЕМА НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ РЕЛЬСОВ В ЦИКЛЕ «ИЗГОТОВЛЕНИЕ – ЭКСПЛУАТАЦИЯ – ВОССТАНОВЛЕНИЕ – СВАРКА»

Гурвич А.К., НИИ мостов, Санкт-Петербург, Россия

Дефекты в рельсах образуются уже на стадии их изготовления на металлургических комбинатах (МК); далее они возникают при сварке рельсов на рельсосварочных предприятиях (РСП); наконец к ним добавляются дефекты из-за нарушения технологии укладки и текущего содержания рельсового пути. Естественно, неразрушающий контроль (НК) необходимо было бы вводить, прежде всего, в МК и в РСП, а затем – в пути. Но в жизни оказалось точно наоборот: первые ультразвуковые дефектоскопы (1952 г.) введены для контроля рельсов в пути; в 1961 г. началось внедрение ультразвукового контроля рельсов в РСП и только в 1986 – на МК.

На МК России подсистема приемочного НК рельсов ограничивается зеркально-теневым методом по второму донному сигналу поперечной волны, возбуждаемой ЭМА-преобразователем, при частоте $\approx 1,6$ МГц и условной чувствительности ≈ 12 отр. дБ. Обнаруживаются дефекты в головке, шейке рельсов и продолжении ее в подошву в виде структурных неоднородностей, как правило, не выявляемых эхометодом. Эхометод, а также методы НК выявления поверхностных дефектов и нарушений геометрических параметров не используются.

Действующая система НК не обеспечивает необходимое качество выпускаемых рельсов: 20...25 % рельсов, изымаемых из пути по дефектам в них, приходится на дефекты металлургического происхождения.

Необходимость кардинального развития подсистемы приемочного НК рельсов при их изготовлении очевидна.

Подсистема НК рельсов в РСП при их восстановлении и сварке предусматривает входной, пооперационный и приемочный контроль. Входной контроль старогодных рельсов осуществляют визуальным и ультразвуковыми методами, а новых – только визуальным; ультразвуковой контроль ведется установками на базе съемных рельсовых дефектоскопов с ПЭП (*эхо-, зеркальный и зеркально-теневого методы*) и специально разработанных стендах с ЭМАП (*эхо-, теневой и зеркально-теневого методы*) с регистрацией результатов в виде развертки типа В.

Пооперационный контроль включает ряд этапов, среди которых и регистрация возможных отклонений режима контактной сварки рельсов от заданного. Однако отсутствие отклонений не гарантирует отсутствия в стыках недопустимых дефектов.

Приемочный контроль представляет собой внешний осмотр с целью выявления поверхностных дефектов в стыках и зон некачественной шлифовки выдавленного при сварке металла, контроль прямолинейности контактной и боковых поверхностей головки в зоне сварки и ультразвуковой контроль стыков эхометодом ($f = 2,5$ МГц, $\alpha = 50^\circ$, $K_y = 24$ дБ).

Поиск дефектов проводится способом поперечно-продольного сканирования при перемещении ПЭП вручную. На все операции приемочного НК стыка отводится около 5 мин. Надежность обнаружения дефектов обуславливается «надежностью» дефектоскописта. Надежность работы дефектоскописта снижается при высоком уровне качества сварки: $< (2 - 3)$ дефектных стыков на 1000 сваренных. Для повышения «надежности» дефектоскописта на его рабочем месте располагают 3 – 4 образца сварных стыков с дефектами.

В среднем «внутризаводской» брак сварки рельсов в РСП не превышает 0,3 %. Тем не менее в процессе эксплуатации сварные стыки периодически в весенне-летне-осенний период времени подвергают ультразвуковому контролю по той же технологии, что и в РСП. При этом обнаруживается 2 – 3 дефектных стыка на 10 тыс. проконтролированных.

Вероятность обнаружения дефектных стыков в РСП $\approx 0,999$, в пути $\approx 0,994$.

Дальнейшее повышение надежности контроля сварных рельсов и рельсовых плетей требует автоматизации процесса ультразвуковой дефектоскопии сварных стыков рельсов.

Подсистема НК рельсов, уложенных в пути, базируется на эхо-, зеркальном и зеркально-теневом методах ультразвуковой дефектоскопии. Для сплошного НК рельсов используется более 2,5 тыс. двухниточных съемных дефектоскопов, перемещаемых по рельсам операторами, 100 мобильных средств (автомотрисы дефектоскопные, вагоны-дефектоскопы, требующие прицепки к локомотивам, и автомобили-дефектоскопы на комбинированном ходу). Абсолютное большинство дефектоскопов оснащено устройствами сплошной регистрации результатов контроля.

Для контроля отдельных участков рельсов, в том числе в труднодоступных местах, предусмотрены односторонние дефектоскопы со сплошным сканированием и дефектоскопы «низкочастотные» с пошаговым сканированием. Для контроля сварных стыков и отдельных сечений рельсов используются специально разработанные или типовые малогабаритные дефектоскопы.

По принципам построения и функциональным решениям отечественные средства сплошного ультразвукового контроля рельсов выгодно отличаются от действующих за рубежом.

Ежегодно на сети железных дорог России около 10 тыс. операторов с применением около 5000 средств дефектоскопии проверяют в год около 4,5 млн км рельсового пути, 2,5 млн стрелочных переводов, 3 млн сварных стыков рельсов. При этом обнаруживается 40...50 тыс. потенциально опасных дефектов, около 97 % дефектов выявляются переносными двухниточными дефектоскопами. Недостаточная эффективность мобильных средств НК рельсов обусловлена нестабильностью акустического контакта ПЭП с рельсом из-за несовершенства искательных систем и стремления к выполнению ошибочно установленных месячных норм контроля. В целом вероятность обнаружения дефектов превышает $\approx 0,98$. Не исключено, что столь высокие результаты достигаются и за счет высокой, иногда избыточной, частоты контроля рельсов (от 24 до 60 раз в год).

Разработка технических решений и организационных мероприятий по обеспечению надежного акустического контакта в широком диапазоне скоростей контроля мобильными средствами – одна из главных задач повышения интегральной эффективности подсистемы НК рельсов, уложенных в пути.

В целом действующая система НК рельсов в цикле «изготовление – эксплуатация – восстановление – сварка» является эффективным, а в ряде случаев – единственно возможным средством предотвращения чрезвычайных ситуаций на железнодорожном транспорте из-за излома рельсов по дефектам в них.

Недостаток системы – неоправданно высокие затраты на ее реализацию.

Затраты будут снижены решением задач по развитию подсистем НК рельсов при их производстве, эксплуатации, восстановлении и сварке.

1.3. СОСТОЯНИЕ СРЕДСТВ НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ РЕЛЬСОВ В РОССИИ И ПЕРСПЕКТИВЫ ИХ РАЗВИТИЯ

Горделий В.И., Горделий А.В., Чебан В.И., *НПП «ВИГОР», Москва, Россия*

Вопросы безопасности и экономичности при эксплуатации железнодорожного транспорта являются весьма актуальными. В самом деле, только надежная работа всего транспортного хозяйства страны обеспечивает согласованную работу ее хозяйственных субъектов, связывает регионы в единое целое, дает возможность населению свободно перемещаться по ее территории. Поэтому любые поломки, аварии на железнодорожном транспорте чреваты не только экономическими, но и невосполнимыми человеческими потерями.

К наиболее ответственным элементам железнодорожного транспорта относятся рельсы. Они эксплуатируются в разнообразных природных и климатических условиях, вдали от населенных пунктов и при невозможности соблюдения всех технических и эксплуатационных норм. Поэтому они в наибольшей мере подвержены всевозможным агрессивным, испытывают многократные физические нагрузки, достигающие 50 МПа и более, обусловленные прохождением подвижного состава, сопровождаемые ударами, существенно увеличивающимися с повышением загрузки поездов и скорости их движения. Кроме того, имеют место термические нагрузки сезонного типа, вызываемые колебаниями температур до ± 40 °С, а также суточные тепловые удары, доходящие до 20 °С. Одновременно рельсы испытывают химические, коррозионные и электромагнитные агрессивности, существенно усложняющие условия их эксплуатации, на них воздействуют влага и масла, кислоты и щелочи. Зачастую присутствуют напряжения, возникающие из-за деформации щебенчатой подушки, шпал и самого грунта, остаточные термонапряжения и др.

В результате такого комплексного воздействия в рельсах накапливаются усталостные и другого рода повреждения, возникает межкристаллитная коррозия. Появляются дефекты как поверхностного, так и внутреннего расположения, перераспределяющие механические напряжения внутри рельсов и нарушающие их однородность. Это ведет к повышению локальных нагрузок и к досрочному разрушению рельсов, в результате около 30 % всех аварийных ситуаций на железных дорогах страны происходит именно из-за изломов рельсов. Проблема в значительной мере обостряется при износе рельсов, исчерпании ими технического ресурса, интенсивной эксплуатации, особенно в зимних условиях и др.

Неразрушающий контроль (НК) – эффективное, а в ряде случаев и единственное средство, предотвращающее чрезвычайные ситуации на железнодорожном транспорте. Поэтому в настоящее время на сети железных дорог России применяется громадное число средств неразрушающего контроля рельсов, использующих как ультразвуковые, так и магнитные методы. Ими только в 2005 г. проконтролировано 6,34 млн км пути, 2,876 млн стрелочных переводов и 3,493 млн сварных стыков, выявлено 57 167 шт поврежденных рельсов (в 2004 г. – только 49 795 шт). В результате на железных дорогах страны ежегодно изымается от 100 до 150 тыс. рельсов, в том числе от 20 до 42 тыс. – остродефектных, т.е. подлежащих немедленной замене. В этой связи состояние рельсового хозяйства страны постоянно улучшается, и только за последние 10 лет число изломов рельсов сократилось в 2,7 раза, а количество аварий, произошедших из-за некачественного контроля, понизилось почти в 5 раз. При этом число аварий, произошедших из-за неудовлетворительного контроля, уменьшилось почти в 4 раза.

Вместе с тем современной аппаратурой НК достаточно надежно обнаруживаются только дефекты, площадь которых составляет свыше 6...8 % площади головки рельса, что явно недостаточно. Отсюда для повышения достоверности требуется производить много-

кратный контроль одних и тех же участков пути (в 2002 г. он составил в среднем по МПС 1,94 раз/мес). Кроме того, существующей аппаратурой наиболее успешно обнаруживаются дефекты 21-го кода (поперечные трещины в головке рельса, возникающие вследствие недостаточной контактно-усталостной прочности металла), в общем числе обнаруженных дефектов они составляют 37 %. Значительно количество дефектов кода 30Г (горизонтальные продольные трещины в головке) – в среднем 24 %. Несколько меньшее число составляют дефекты 53-го кода (трещины в шейке от болтовых или других отверстий в рельсах) – 8,2 %, дефекты 26-го кода (поперечные трещины в головке из-за нарушения технологии сварки рельсов) – 6 %, 24-го кода (поперечные трещины в головке вследствие боксования, юза, прохода колес с ползунами, выбоинами) – 5 %. И далее по убывающей – дефекты 52-го кода (продольные трещины и выколы из-за них в местах перехода головки в шейку) – 3 %, 55-го (трещины в шейке от маркировочных знаков, ударов по шейке и других механических повреждений и выколы из-за них), 38-го (трещины в головке в месте приварки рельсовых соединителей), 30В (горизонтальные продольные трещины в головке) и 27-го (трещины, выходящие на поверхность катания) – по 2 %. Примерно по 1 % обнаружено дефектов следующих кодов: 56-го (трещины в шейке в зоне сварного стыка), 66-го (трещины в подошве в зоне сварки рельсов) и 99-го (другие изломы и повреждения рельсов). На все остальные типы вместе приходится примерно 4 % обнаруженных дефектов. При этом со временем абсолютное число дефектов в рельсах увеличивается в основном за счет повреждений усталостного характера. Например, количество дефектов кода 21 с 2000 по 2005 г. возросло с 10,9 тыс. шт до 19,9 тыс. шт, а число дефектов кода 30 Г – с 4,2 тыс. шт до 12,4 тыс. шт.

В целом эффективность использования средств дефектоскопии составила к 2005 г. 99,93 % по сравнению с 99,27 % в 2000 г. Однако не по всем видам дефектов она одинакова, и это обстоятельство приводит к возникновению чрезвычайных ситуаций. Так, 57,2 % изломов рельсов обязаны своим возникновением кодам дефектов 21, 58 и 69. Причем, дефекты кодов 66, 69 и 79, которые среди обнаруженных составляют всего чуть больше 1 %, приводят к 63,7 % изломов рельсов. И это обстоятельство диктует направление работы по совершенствованию приборов и методов НК рельсов.

Кроме того, применяемая ультразвуковая аппаратура на базе ПЭП неудовлетворительно работает на больших скоростях, при низких температурах, при наличии на поверхности катания рельсов различного рода загрязнений, масел, ржавчины. Значительная часть дефектов не обнаруживается из-за недобросовестности и низкой квалификации дефектоскопистов. Так, из 115 случаев изломов рельсов в 2005 г. 45 (в 2004 г. – 43) допущено из-за пропуска дефектов операторами дефектоскопов. Решение данной проблемы возможно только с помощью мобильных систем НК, в которых реализуется не только автоматизированный процесс контроля, но и автоматическая обработка, анализ, хранение и передача информации. Такие системы позволяют существенно повышать достоверность и эффективность контроля, получать документ о его результатах и в конечном итоге переходить от расчетной периодичности контроля к целенаправленной с учетом фактического состояния пути и прогнозирования его состояния на длительный период.

Все более актуальным становится внедрение методов, повышающих вероятность обнаружения дефектов при однократном проходе рельсового пути, способных работать при любых климатических условиях и обнаруживать все опасные дефекты. И среди них наиболее перспективным является бесконтактный электромагнитно-акустический метод (с применением ЭМА-преобразователей). С его помощью открывается возможность осуществлять НК изделий бесконтактно, не применяя какие-либо промежуточные жидкости, работать с ультразвуковыми сигналами произвольной поляризации, в широком диапазоне частот, температур и скоростей. При этом существенно понижаются требования к степени шеро-

ховатости поверхности контролируемых изделий, к их загрязненности, наличию масел и коррозии. Стабилизируется акустический контакт преобразователей с поверхностью рельса.

В настоящее время такие установки, разработанные и поставляемые НПП «ВИ-ГОР», широко применяются для контроля старогодных рельсов на рельсосварочных предприятиях МПС РФ. Накопленный опыт их эксплуатации всецело подтверждает перспективность применения ЭМАП на железнодорожном транспорте.

1.4. РАЗВИТИЕ СИСТЕМ НАНОДИАГНОСТИКИ

Клюев В.В., Матвеев В.И., ЗАО «МНПО «Спектр», Москва, Россия

В докладе рассматриваются основные аспекты развития современных систем нанодиагностики, включающие комплекс взаимосвязанных направлений: разработку новых сенсоров, датчиков и преобразователей на основе нанотехнологий и материалов, разработку самих систем нанодиагностики, их метрологическое обеспечение, а также подготовку и сертификацию персонала.

В президентском послании Федеральному Собранию отмечалось, что «нанотехнологии становятся ключевым направлением развития современной промышленности и науки». Во всех развитых странах это направление в последние годы стало приоритетным, особенно с развитием нанoeлектроники и миниатюризации приборов и устройств.

Наибольшее развитие систем нанодиагностики происходит с использованием зондовой сканирующей микроскопии. Все известные методы можно условно разделить на три основные группы:

- сканирующая туннельная микроскопия, когда между электропроводящим острием и образцом приложено небольшое напряжение до 10 В и регистрируется туннельный ток в зазоре, зависящий от свойств и расположения атомов на исследуемой поверхности образца;

- атомно-силовая микроскопия, когда регистрируют изменения силы притяжения зонда к поверхности от точки к точке. Зонд расположен на конце кантилевера и способен изгибаться под действием небольших сил, возникающих между исследуемой поверхностью и кончиком зонда. Деформацию кантилевера регистрируют по отклонению лазерного луча или с помощью пьезорезистивного эффекта от изгиба кантилевера;

- ближнепольная оптическая микроскопия, когда зондом является оптический световод, сужающийся на том конце, который обращен к образцу. При малом расстоянии между исследуемой поверхностью и кончиком зонда амплитуда и фаза отраженной световой волны меняются, что служит сигналом для построения трехмерного изображения поверхности.

Развитие зондовых методов в направлении силового нанотестинга поверхности дает возможность исследовать механические свойства тонких приповерхностных слоев в нанобъемах, атомные механизмы наноконтактной деформации при сухом трении, абразивном износе, механическом сплавлении и т.п. При усовершенствовании зондов для сканирующей микроскопии находят применение миниатюрные механические, химические, тепловые, оптические и другие сенсоры для различных задач. Массивы кантилеверов из кремния позволяют реализовать функции «электронного носа» или «электронного языка» для химического анализа газов, жидкостей, воздуха и продуктов питания.

На основе многих зондовых микроскопов создаются целые нанолaborатории для материаловедения и диагностики, сочетая в себе оснастку для микромеханических испытаний и многообразные методики измерений.

Важнейшее значение в зондовых методах имеют системы позиционирования. Они также интенсивно совершенствуются, используя оптические (лазерные), емкостные и индуктивные методы, а также элементы на поверхностных акустических волнах.

Получают дальнейшее развитие в НК рентгеновские методы, реализующие нанофокусные системы анализа и микротомографию.

Достижения в нанотехнологиях и получаемых с их помощью материалах привели к созданию новых сенсоров, датчиков и преобразователей. Примерами могут быть: молекулярные фильтры (в анализаторах следовых остатков взрывчатых и наркотических веществ), рентгеновские сцинтилляторы для определения при досмотрах химического состава веществ, магнитные датчики на эффекте гигантского магнитосопротивления, болометры на «горячих электронах» для приема терагерцевого излучения и т.д.

Важнейшим вопросом, требующим также первоочередного решения, является создание систем нормативно-технического и метрологического обеспечения исследований и разработок в области нанотехнологий. Проведение опытно-конструкторских работ и тем более переход к серийному производству требуют наличия соответствующих стандартов, методик испытаний и аттестации, программ стандартизации и унификации.

Важнейшим мероприятием становится также вузовская подготовка инженеров-специалистов, а в дальнейшем подготовка и сертификация персонала для эффективного применения современной нанодиагностической аппаратуры.

1.5. ПЕРЕНОСНОЙ МЕТАЛЛОГРАФИЧЕСКИЙ МИКРОСКОП ГИБ-2М И КОМПЛЕКС СРЕДСТВ КОНТРОЛЯ НА ЕГО ОСНОВЕ

Горбачев А.Н., *ОАО «Всероссийский теплотехнический институт», Москва, Россия*

Важной задачей при эксплуатации высоконагруженных узлов в энергетике и химической промышленности является определение структурных изменений в металле трубопроводов, гибов, проточной части турбин, сосудов, резервуаров. Мониторинг состояния металла оборудования позволяет обеспечить его безаварийную эксплуатацию и оптимизировать планирование ремонтных работ.

Для проведения металлографических исследований непосредственно на оборудовании создан переносной металлографический микроскоп ГИБ-2М.

Мобильный металлографический микроскоп ГИБ-2М (далее микроскоп) предназначен для проведения визуального и документируемого металлографического контроля структуры металла оборудования тепловых электрических станций. Микроскоп может также применяться для прикладных и научных исследований в любых отраслях.

Микроскоп снабжен устройством магнитной фиксации на трубопроводах из магнитных сталей, обеспечивающим возможность работы при любой ориентации исследуемого участка (нормальное, горизонтальное, потолочное). Для повышения надежности фиксации микроскопа на контролируемом трубопроводе, а для фиксации на трубопроводах из аустенитных сталей микроскоп снабжен системой механической фиксации (ремень и натяжное устройство).

Система освещения микроскопа выполнена по общепринятой схеме Келлера с использованием светодиодного источника света.

Масса микроскопа без фотоаппарата не превышает 2 кг. Микроскоп комплектуется сменными объективами, обеспечивающими наблюдение исследуемого шлифа при увеличениях $\times 100$ и $\times 500$. При работе на оборудовании микроскоп применяется как для непосредственного проведения металлографических исследований, так и для контроля качества металлографического шлифа при снятии реплик и собственно полученных реплик.

По качеству получаемого изображения прибор соответствует отечественным стационарным металлографическим микроскопам.

На базе ГИБ-2М предложен комплекс диагностической аппаратуры, в состав которого входят разработанные в ВТИ с участием автора следующие компоненты:

- низкочастотный вихретоковый структуроскоп;
- мобильный металлографический микроскоп ГИБ-2М;
- устройство выборки микрообразцов;
- набор инструментов и материалов для изготовления шлифов;
- набор инструментов и материалов для изготовления реплик;
- комплект методик для применения составных частей комплекса и расшифровки полученных результатов.

Обсуждается опыт применения микроскопа и комплекса при контроле энергетического оборудования.

1.6. ОСОБЕННОСТИ ВИХРЕТОКОВОЙ ДЕФЕКТΟΣКОПИИ МАГИСТРАЛЬНЫХ ТРУБОПРОВОДОВ

Мужицкий В.Ф., Бакунов А.С., Шубочкин А.Е., ЗАО «НИИИИ МНПО «Спектр»,
Москва, Россия; Загидулин Р.В., БашГУ, Уфа, Россия

При неразрушающем контроле поверхности стальных трубопроводов, находящихся в длительной эксплуатации, электромагнитным дефектоскопом приходится выявлять дефекты сплошности, полости которых плотно заполнены продуктами коррозии и отложений нефтепродуктов [1]. В их состав входит оксид железа и другие химические соединения, которые обладают физическими свойствами, существенно отличными от свойств воздушной среды.

Вихретоковый дефектоскоп ВД-12НФМ и его аналоги широко применяются для выявления поверхностных дефектов сплошности типа трещин и коррозионных язв в стальных изделиях и трубопроводах [2]. Принцип работы вихретокового дефектоскопа основан на различии электромагнитных свойств материала в бездефектной и дефектной областях изделия, которое влияет на плотность вихревых токов, индуцируемых в металле стального изделия возбуждающей катушкой вихретокового преобразователя (ВТП) [3].

Исследования магнитных свойств продуктов коррозии и отложений из магистрального нефтепродуктопровода, эксплуатирующегося около 30 лет, показали, что они обладают магнитными свойствами, которые могут оказать влияние на результаты электромагнитного контроля.

Были проведены измерения удельного магнитного момента, удельной магнитной восприимчивости и определение процентного содержания магнитной фазы в образцах.

Величина удельного магнитного момента продуктов коррозии магистральных трубопроводов составила около 18 % величины этого параметра для чистого железа.

На основе сравнения измеренных значений с эталонными данными было установлено, что величина удельной магнитной восприимчивости коррозионных отложений магистральных трубопроводов почти на два порядка превышает удельную восприимчивость парамагнитной соли Мора.

В программу поиска химических соединений в продуктах коррозии и отложений магистрального трубопровода был заложен поиск процентного содержания соединений Fe_2O_3 , ZnO , MnO , NiO , которые обладают магнитными свойствами. На основе сравнения измеренного значения температуры Кюри с соответствующими данными для известных соединений было установлено примерно процентное содержание указанных химических

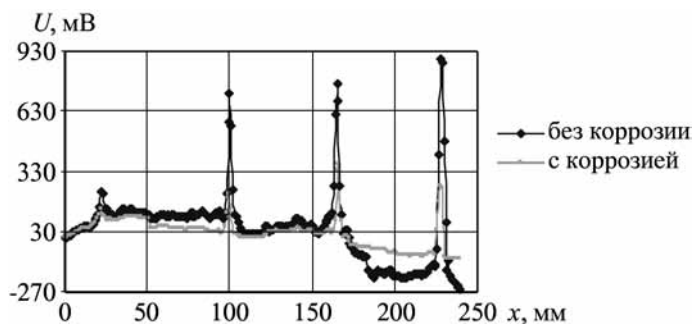


Рис. 1. Зависимость сигнала дефектоскопа от глубины дефектов типа цилиндрических сверлений на трубе диаметром 500 мм и толщиной 16 мм

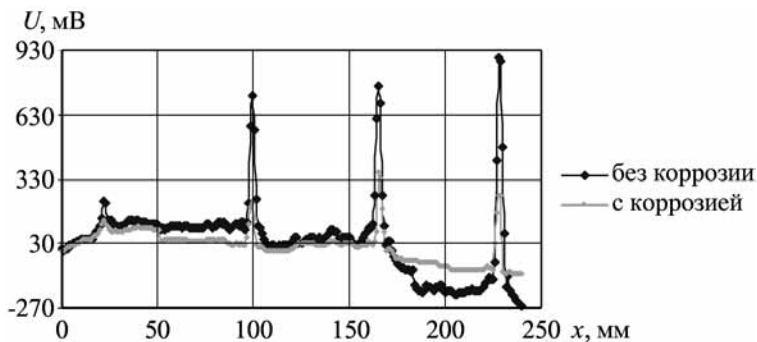


Рис. 2. Зависимость сигнала дефектоскопа ВД-12НФМ от глубины дефектов типа трещины на стальной пластине

соединений. Можно утверждать, что основной вклад в магнитные свойства продуктов коррозии и отложений трубопровода вносит соединение оксида железа Fe_2O_3 , содержание которого составляет 53...66 %.

На рис.1 показаны экспериментально полученные зависимости сигнала вихретокового дефектоскопа ВД-12НФМ от глубины дефекта в стальной трубе, когда полость дефекта сплошности заполнена воздухом и внутри полости находятся продукты коррозии трубопровода, а на рис. 2 – дефектов типа трещины на стальной пластине.

Было установлено, что в зависимости от формы и геометрических параметров дефекта уменьшение амплитуды сигнала электромагнитного дефектоскопа от дефекта сплошности может составить от 10 до 250 %.

Степень влияния продуктов коррозии нефтепродуктопровода в полости дефекта на сигнал вихретокового дефектоскопа ВД-12НФМ сильнее проявляется для дефектов сплошности типа одиночных коррозионных язв и в меньшей степени для протяженных трещиноподобных дефектов.

Литература

1. Мужикский В.Ф., Исаев Д.А., Загидулин Р.В. Использование вихретоковых методов технической диагностики для неразрушающего контроля нефтегазопромыслового оборудования // 3-я Междунар. науч.-техн. конф. «Новые материалы, неразрушающий контроль и наукоемкие технологии в машиностроении». Тюмень, 6–9 декабря 2005 г. Тюмень, 2005.

2. Бизюлев А.Н., Мужичкий В.Ф., Загидулин Р.В. и др. Вихретоковый дефектоскоп ВД-12НФП и методы обработки измеренного сигнала от дефекта // Дефектоскопия. 2004. № 5. С.85–91.

3. **Неразрушающий контроль** и диагностика: справ. / В.В. Клюев, Ф.Р. Соснин, В.Н. Филинов и др. М.: Машиностроение, 1995. 488 с.

1.7. КЛАССИФИКАЦИЯ НЕСПЛОШНОСТЕЙ В СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЯХ ДУ1200 ПАРОГЕНЕРАТОРОВ АЭС С РЕАКТОРОМ ВВЭР-1000 ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ СИСТЕМ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО УЛЬТРАЗВУКОВОГО КОНТРОЛЯ СЕРИИ «АВГУР»

Бадалян В.Г., Самарин П.Ф., Тихонов Д.С., *НПЦ «ЭХО+», Москва, Россия*

Используемые при проведении автоматизированного ультразвукового контроля (АУЗК) системы серии «АВГУР» позволяют получать после когерентной обработки данных томографические изображения дефектов с высоким разрешением. В результате анализа полученных изображений внутреннего объема контролируемого изделия определяются параметры выявленных несплошностей и проводится их классификация. Отмечается, что для решения задачи классификации дефектов необходима 3D-информация об анализируемой несплошности. На основании ранее сформулированных общих признаков [1] характеризующих особенности акустических изображений для различных типов дефектов, исследованы данные контроля сварных соединений узла приварки коллектора теплоносителя к патрубкам Ду1200 парогенераторов реакторных установок ВВЭР-1000. Приведены результаты измерений тест-образца реального сварного соединения, имеющего различные виды искусственных отражателей: плоскостные и объемные. Анализ данных контроля и изображений, сопоставление его с паспортными значениями искусственных дефектов показал, что разработанная технология контроля таких соединений позволяет выявлять различно ориентированные несплошности, определять их тип и измерять реальные размеры.

Представлены данные АУЗК реальных объектов, контроль которых проводился по этой технологии с использованием системы «АВГУР 5.2» [2]. При этом основное внимание уделяется получению экспериментальных данных, направленных на оптимизацию выбора ПЭП и параметров контроля.

Приведены изображения дефектов, полученных в результате контроля тест-образцов и сварных соединений реальных объектов атомных электростанций с реакторными установками ВВЭР-1000.

Литература

1. Бадалян В.Г. Оценка результатов контроля по акустическим изображениям // Дефектоскопия. 2007. № 4. С. 39–58.

2. **Вопилкин А.Х., Самарин П.Ф., Тихонов Д.С.** Оборудование и методики автоматизированного ультразвукового контроля сварных швов приварки коллекторов теплоносителя к патрубкам парогенераторов ВВЭР-440 и ВВЭР-1000 // Мат-лы 7-го Междунар. семинара по горизонтальным парогенераторам, ФГУП ОКБ «ГИДРОПРЕСС», г. Подольск, Моск. обл., Россия, 3–5 окт. 2006 г. Подольск, 2006.

1.8. РЕНТГЕНОВСКАЯ ПРОМЫШЛЕННАЯ ТОМОГРАФИЯ ПРИ ОГРАНИЧЕННЫХ ПРОЕКЦИОННЫХ ДАННЫХ

Венгринович В.Л., Золотарев С.А., Денкевич Ю.Б., Решетовский И.И.,
Институт прикладной физики НАН Беларуси, Минск, Беларусь

В последнее время за рубежом резкое ускорение получила промышленная рентгеновская томография, которая позволила вывести, например, контроль фасонных отливок различных деталей автомобильных и тракторных двигателей на качественно новый уровень, став основой так называемых реверсных технологий. Производство ответственных изделий современного машиностроения: автомобильных, тракторных и авиационных двигателей, вертолетных лопастей, охлаждаемых турбинных лопаток – невозможно без использования современных средств томографической визуализации и размеромерии.

Если при рентгеновском сканировании «наблюдение» объекта доступно из любого положения на круговой траектории, то для получения качественного трехмерного изображения объекта используется либо алгоритм, основанный на преобразовании Радона, либо итерационный метод реконструкции, либо метод фильтрованных обратных проекций (ФОП). Однако при ограничении угла обзора и/или малом числе проекций и во многих других случаях задача становится некорректной.

Основные ограничения информационных характеристик современных промышленных томографов обусловлены несовершенством источников рентгеновского излучения – слишком низкой для машиностроительных задач величиной энергии, слишком большими размерами фокусных пятен и ничтожной удельной интенсивностью в пересчете на размеры фокусного пятна.

Если, например, рентгеновское излучение недостаточно для полного просвечивания объекта контроля (ОК) по наилучшим направлениям, то его нельзя реконструировать с помощью традиционных итерационных алгоритмов. Иногда удовлетворительной реконструкции можно добиться, применяя Байесовскую реконструкцию изображений с использованием приемлемой априорной информации. Применение в качестве априорной информации статистических свойств восстанавливаемого изображения также является весьма полезным для бинарных изображений.

В настоящем докладе приведен обзор методов рентгеновской томографии при неполных исходных проекционных данных, разработанных в лаборатории вычислительной диагностики ИПФ НАНБ, в том числе:

а) концепция и техника многоступенчатой реконструкции бинарных и трехфазных объектов для ограниченного числа проекций и малого угла обзора;

б) структура различных поддерживающих функционалов и оптимальные способы их минимизации;

в) алгоритмы и программная реализация прямого моделирования для кусочно-однородных объектов на основе оболочечного подхода;

г) метод компенсации рассеяния рентгеновских лучей при получении рентгеновских проекций с целью уменьшения ошибок при трехмерной реконструкции изображений цилиндрических объектов;

д) методика реконструкции изображений промышленных объектов с применением процесса распараллеливания вычислительного процесса на основе технологии MPI;

е) методика реконструкции изображений промышленных объектов с использованием деформации на множестве контрольных точек, заданных на неравномерной сетке.

Показаны математические принципы и алгоритмы, а также примеры их применения для решения практических задач.

1.9. АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ КОМБИНИРОВАННЫЙ ВИХРЕТОКОВЫЙ И УЛЬТРАЗВУКОВОЙ КОНТРОЛЬ ПРОКАТНЫХ ВАЛКОВ

Поздеев В.В., *ОАО «АСТА», Москва, Россия,*
Киффер Патрик, *Уистреам, Франция (Ouireham, France)*

Неразрушающий контроль качества прокатных валков в современном мире и необходимость такого контроля. В настоящее время в металлургии одновременно с увеличением производства проката растут и требования к качеству прокатных валков. Автоматизированный вихретоковый и ультразвуковой контроль прокатных валков обеспечивает 100%-ный контроль на наличие всех поверхностных и внутренних дефектов. Три основных производителя таких приборов на мировом рынке АСТА, Lismar, Sarclad.

Автоматизированный вихретоковый и ультразвуковой прибор французской компании АСТА и его характеристики и преимущества. Прибор состоит из производственного шкафа и колонны с датчиками. Он предназначен для контроля валков как у производителей валков, так и у прокатчиков. Полная автоматизация прибора упрощает порядок работы оператора и обеспечивает синхронизацию с любым шлифовальным станком. Программное обеспечение отображает процесс контроля с помощью гистограммы, картографии и осциллографа. Прибор имеет много технических преимуществ перед предложениями других компаний. Работает во многих странах мира на крупнейших заводах таких компаний, как: Arcelor Mittal, Algoma Steel (Essar), Uttam Steel, U.S.Steel, Salzgitter и многие другие.

1.10. МЕТОДОЛОГИЯ И КОМПЛЕКС УЛЬТРАЗВУКОВОГО КОНТРОЛЯ ДЛИННОМЕРНЫХ РЕЛЬСОВЫХ ПЛЕТЕЙ ПРИ ИХ ПРОИЗВОДСТВЕ И ЭКСПЛУАТАЦИИ В ПУТИ

Марков А.А., Козьяков А.Б., *ОАО «Радиоавионика», Санкт-Петербург, Россия*

В последние несколько лет на сети железных дорог России производится плановая замена звеньевых пути на бесстыковой. Отсутствие болтовых стыков (самых слабых и напряженных мест пути) на участках дороги практически исключает динамические и шумовые воздействия на пассажиров, позволяя значительно увеличить скорость движения и продлевая срок службы пути. Начиная с 2000 г., протяженность бесстыкового пути ежегодно увеличивается на 3000...3200 км. К 2010 г. количество сварных стыков рельсов, уложенных в путь, возрастет более чем в 2 раза и составит 5,2 млн стыков.

В настоящее время рельсы, уложенные в путь, подвергаются сплошному (по всей длине) контролю съемными дефектоскопами, оснащенными регистраторами, а также мобильным средствами. При этом периодичность проверки составляет от двух до четырех раз в месяц. Кроме того, сварные стыки как наиболее критичные участки рельсов проверяются отдельно: на рельсосварочных предприятиях до их укладки в путь, а также при их эксплуатации в пути. При этом по настоящее время ультразвуковой контроль сварных стыков производится портативными дефектоскопами посредством ручного сканирования стыка по всему сечению.

В то же время с начала 70-х гг. прошлого века предпринимались многократные попытки механизации и автоматизации процесса ручного ультразвукового контроля сварных стыков рельсов. Сложность задачи подчеркивается и тем, что даже в такой развитой в научно-техническом отношении стране, как Япония (и в странах Европы), ультразвуковой контроль стыков рельсов ведется вручную. Применение различных вспомогательных сканирующих устройств (например, сканера САТС-02 к дефектоскопу «АВИКОН-02Р»), облегчающих процедуры перемещения преобразователей по заданной траектории (в основном по поверхности катания рельса), не решает проблему. Контроль по-прежнему остается субъективным.

Перечисленные выше обстоятельства, а также то, что до 30 % изломов рельсов на железных дорогах ОАО «РЖД» в последнее время происходят из-за дефектов в сварных стыках, сделали актуальным вопрос о замене ручного контроля автоматизированным. При замене действующей технологии необходимо предусмотреть обязательное получение объективного документа контроля всего сечения сварного стыка и ощутимое (не менее 2 раз) повышение производительности контроля.

При автоматизации процесса контроля целесообразно также устранить некоторые ограничения в выявлении дефектов, в частности, отсутствие гарантии действующей технологии на обнаружение поперечных дефектов в головке рельса «...в зоне глубиной до 15 мм под поверхностью катания головки, а также дефектов типа слипания (неполная сварка, плоский излом)».

Решению поставленной задачи традиционными способами мешает значительная загрязненность поверхностей шейки и перьев подошвы рельсов, лежащих в пути, что вряд ли позволит практически обеспечивать стабильный акустический контакт при сканировании всего периметра сечения рельса путем перемещения ПЭП механизированным способом. Усложняют процесс сканирования и конструктивные элементы крепления рельсовой колеи к полотну пути.

В связи с тем что контроль сварных стыков рельсов в пути проводят обычно без закрытия движения поездов по участку, требуется предусмотреть возможность быстрого съема установки с рельсового пути. Весьма важными факторами являются также обеспечение точного позиционирования ПЭП относительно сечения сварного стыка и однозначная привязка проконтролированного стыка к путевой координате. При этом обслуживание системы не должно требовать высокой квалификации персонала.

Для решения указанной проблемы предложен принципиально иной способ ультразвукового контроля, основанный на последовательном озвучивании сварного стыка группой преобразователей при их стационарном позиционировании на поверхности рельса, в отличие от принятых технологий проверки сварных стыков, где производится перемещение одного (или пары) преобразователей по рельсу в околостыковой зоне.

Практической реализацией данной идеи является разработанный в ОАО «Радиоавионики» дефектоскоп МИГ-УКС. В указанном дефектоскопе отсутствует перемещение ПЭП по поверхностям рельса. При этом озвучивание всего сечения сварного стыка осуществляется с помощью 70 ПЭП, прижимаемых к поверхностям рельса на расчетных расстояниях от искомого сечения. Указанные ПЭП размещены в специальных блоках резонаторов, устанавливаемых на поверхности головки рельса и на перья подошвы. Всего в МИГ-УКС создано 84 канала.

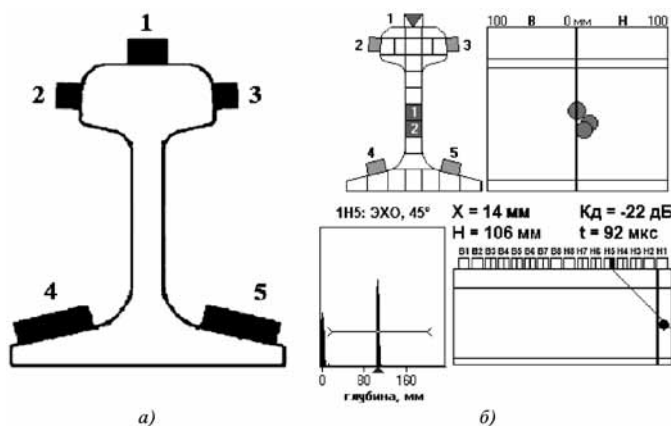


Схема размещения акустических блоков (а) и представление информации об обнаруженных дефектах дефектоскопом МИГ-УКС (б)

При движении тележки по рельсам от одного стыка к другому блоки резонаторов находятся в подвешенном состоянии, что практически исключает их механический износ (стирание). Дефектоскоп обеспечивает проверку стыка за две установки искательной системы на рельс. При этом производится озвучивание стыка сначала с одной стороны, а затем с другой. Технология контроля не требует от оператора снятия или разворота дефектоскопной тележки в процессе контроля. Для точного позиционирования тележки относительно центра сварного стыка она оснащена лазерными указателями. Оператор совмещает луч лазерного указателя с центром стыка и производит установку блоков резонаторов на головку рельса.

Требования к подготовке околошовных поверхностей рельса перед установкой блоков преобразователей МИГ-УКС не отличаются от требований, предусмотренных действующей технологией.

В настоящее время разработаны два варианта (исполнения) дефектоскопа:

- для работы в пути – МИГ-УКС/путь;
- для эксплуатации в условиях рельсосварочного предприятия – МИГ-УКС/РСП.

Оба дефектоскопа реализуют одну и ту же схему прозвучивания и режимы работы.

Отличия указанных вариантов заключаются в их конструкции, а именно: управление МИГ-УКС/путь производится посредством специальных рычагов, а МИГ-УКС/РСП – посредством пневмопривода.

Использование дефектоскопа решает следующие задачи:

- минимизирует субъективный фактор при проведении контроля посредством замены ручного сканирования электронным;
- формирует протокол проверки каждого сварного стыка с отображением на нем результатов и параметров контроля по каждому каналу;
- повышает качество контроля сварного стыка за счет проверки его тремя методами ультразвукового контроля: эхо-, зеркальным и дельта-методом.

1.11. ПУТИ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ (ЗАДАЧИ И РЕШЕНИЯ) ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ МЕТОДОВ ДЛЯ ПРОМЫШЛЕННОГО КОНТРОЛЯ ТРУБ И ПРОКАТА

Федосенко Ю.К., ЗАО «НИИИИИ МНПО «Спектр», Москва, Россия

При контроле труб и проката в потоке их производства широкое применение наряду с другими (ультразвуковыми, рентгеновскими, оптическими, магнито-порошковыми и т.д.) получили электромагнитные методы. При этом используют как проходные, так и накладные ВТП. С помощью электромагнитных дефектоскопов контролируется почти 100 % тонкой проволоки $\varnothing 0,05...2,5$ мм (вихретоковые дефектоскопы с проходными ВТП), ~80 % электросварных труб на участках электросварочных агрегатов с непрерывной трубой; ~90...95 % труб и проката некруглой формы – квадратной, прямоугольной, шестигранной (вихретоковые дефектоскопы с проходными преобразователями). В связи с тем что требования к контролю постоянно возрастают, совершенствование средств контроля требует новых методов. Применительно к контролю проходными ВТП разработки направлены на решение таких задач, как: расширение функциональных возможностей ВТП, повышение основного дефектоскопического показателя – соотношения сигнал/шум ($K = U_q/\text{Ш}_m$), что особенно важно при относительно больших диаметрах труб ($\varnothing 100...220$ мм), повышение помехозащищенности измерительного тракта. Для расширения функциональных возможностей проходных ВТП излагается классический метод вихретоковой дефектоскопии с одновременным измерением толщины стенки трубы. В блоках датчиков с проходными ВТП с помощью соленоида создается мощное постоянное продольное магнитное поле ($B \cong 1\text{Тл}$), используемое обычно для стабилизации магнитных свойств трубы по ее длине. Это же поле позволяет измерять толщину стенки трубы, если дефектоскоп дополнить многоканальной системой для измерения H_z магнитного поля, зависящей от толщины стенки трубы. Для измерения H_z эффективнее всего применять датчики Холла благодаря их малым размерам и достаточно высокой чувствительности. Датчики Холла легко встраиваются в конструкцию проходного ВТП, размещаясь по его периметру. Измерив толщину стенки трубы, определяют коррозионные повреждения как на наружной, так и на внутренней стенке трубы, выявляют в стенке поперечные дефекты различного вида. Для выявления протяженных дефектов с плавным заходом концевых участков используется комбинированный ВТП, объединяющий измерительные обмотки проходного типа, и продольные вращающиеся накладные ВТП.

Повышение коэффициента K достигается либо с помощью металлического экрана специальной формы (используется при контроле труб с диаметром 100...220 мм), либо с применением дополнительного шумоподавляющего канала. В качестве источника сигналов для этого канала используется вторая дополнительная дифференциальная пара измерительных обмоток с диаметром $D_{\text{ш}}$, превышающим диаметр основной обмотки для измерения дефектов ($\varnothing D_{\text{ш}} \gg \varnothing D_{\text{деф}}$). Сигналы от шума в обеих обмотках выравниваются и вычитаются на сумматоре, а сигналы от дефекта, наводящиеся только в основной обмотке, выделяются для дальнейшей обработки. При этом дефекты выделяются при $K \ll 1$). Сильно мешающим контролю фактором являются импульсные помехи, возникающие в измерительном канале классического проходного ВТП при соударении движущейся трубы и ролика рольганга. Устранить эти соударения за счет механической центровки рольганга удастся далеко не всегда. Эффективным оказался способ электронного подавления таких помех за счет введения дополнительного измерительного канала, аналогичного основному, за исключением дополнительной проходной измерительной обмотки, которая смещается по оси ВТП на заданное расстояние l . Тогда сигналы от помехи возникают в обеих обмотках одновременно, а сигналы от дефектов – с задержкой $\Delta t = l/v$, где v – скорость перемещения трубы. Отстройка производится программно.

1.12. HEALTH MONITORING OF COMPOSITE PATCH BY ACOUSTIC EMISSION METHOD

Běhal J., Makarov V.

Aeronautical Research and Test Institute, Prague, Czech Republic



Figure 1. Test specimen with artificial cut cover by composite patch

emission (AE) method has been prepared for industrial application. Piezoelectric sensors are mounted on the structure in the critical area and multi-channel analyser is looking for characteristic feature of material cracking. There have been performed several tasks in the laboratory, including of detection of micro-crack nucleation, bonded joint cracking, multi-site damage recognition and crack tip front localisation.

Methods. Multi-channel analyser of AE was used in the course of research study (fig. 1). Usage of several sensors gives us possibility to find the optimal configuration and to establish an effective methodology for SHM. In the case of aircraft structure, there are a lot of shell elements. Acoustic and ultrasound waves are propagating in strongly dispersive environment. A relatively low reverberation of metals causes difficulties too, because the waves are mirrored on the edge of the plate and mixed together. On the other hand, there are no such differences with wave propagating in metal sheet and composite patch of limited dimensions.

To reach a precision of AE source localisation, a high time resolution of analyser is demanded. However the event is coming to the sensor in deformed shape and detection of arrival time is affected by used techniques of data processing. The appropriate adjustment of both hardware and software is the key to successful application of AE monitoring as SHM method.

Techniques of traditional NDT methods, such as ultrasound, applied on the partial cracked specimen and probes suitable for thin layer material were verified.

Results. Emission sources were localised on the disbonded area of the patch (fig. 2). Propagating of disbonded area was measured by visual method through the cracks visible on the sides of the patch and the shape of crack front was validated after tear-down inspection. AE data were filtered according to physical phenomena of the source, however there was presented an additional bending mode due to one-side application of the patch and the sources were localised along the whole dislodged and bended length of the patch. Actual state of disbonding detected by acoustic emission method is generated as an envelope of the source positions.

Discussion. There was proven capability of acoustic emission method in the course of health monitoring of composite repair of cracked Al-plate. The crack was detected since very beginning of patch disbonding under fatigue loading of the test specimen and the crack propagating was documented till final failure of the specimen was reached.

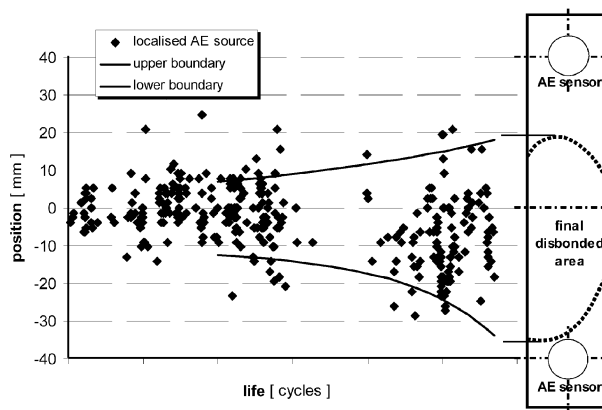


Figure 2. Growth of disbonded area detected by acoustic emission and visual method

Summary. With aging aircraft, maintenance and repair tasks are growing up. Today application of composite patch is a modern technology of fatigue crack repairing. However, condition of bonded joint should be monitored in the service due to structure exposition of temperature and humidity with a large scatter factor on fatigue life.

For SHM system developing separate test specimens were designed. An artificial cut was made in the centre of Al-plate and composite patch was applied. Fatigue crack in the bonded joint was growing under tensile loading of the test specimen. Growing was monitored by acoustic emission. Simultaneously, disbonded area was measured by visual method and both results are correlated.

Acknowledgement. The research was supported by the project No MSM0001066903 of the Ministry of Education, Youth and Sports of the Czech Republic.

1.13. DETECTION CAPABILITIES OF STATE-OF-THE-ART SHEAROGRAPHY SYSTEMS

Moser E., Collrep J., *Dantec Dynamics GmbH, 89077 Ulm, Germany*

Modern hi-tech products today are widely made of composite materials, which are specifically designed for the purpose of their application. Other than a precise knowledge of the characteristics of these materials, which often are anisotropic, quality control is of the essence. As said components, e.g. in aerospace, aircraft, or also boat industry are safety relevant, and also of great economic value, rapid defect recognition has to be carried out in production as well as in maintenance.

Shearography is a full field inspection technique, which is specifically suited to do fast defect detection. It is widely accepted as a reliable and fast inspection method especially designed for modern composite material.

Latest generation of Shearography technique and software are presented and the potential is outlined.

Different challenges are presented in production control and in maintenance. In this presentation emphasis is put on its potential and position in aircraft and boat industry.

1.14. ПРИМЕНЕНИЕ УПРАВЛЯЮЩИХ КОМПЛЕКСОВ В РЕШЕНИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ЗАДАЧ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО УЛЬТРАЗВУКОВОГО КОНТРОЛЯ СВАРНЫХ ТРУБ

Ткаченко А.А., НИИНК АО «ИНТРОСКОП», Кишинев, Молдова

В докладе обозначены подходы к решению некоторых технологических задач комплексного ультразвукового (УЗ) контроля сварных труб с использованием управляющих вычислительных комплексов (УВК), рассмотрены способы повышения достоверности и информативности УЗ-контроля сварных швов и краевых полос труб в условиях их производства. Приведены принципы построения многоканальных дефектоскопов, особенности аппаратуры и акустических систем автоматизированных установок контроля.

При производстве сварных труб большого диаметра УЗ-контролю подвергаются сварной шов и краевые полосы концов труб. Постановка важнейших технологических задач, требующих качественного решения при автоматизированном контроле, направлена на обеспечение достоверности процесса при заданной производительности контроля и обусловлена используемыми методами УЗ-контроля. Преимущественно в современных системах используются отдельные вариации эхометода, тандем-метод и реже дельта- и теневой методы УЗ-контроля.

С применением этих методов на достоверность контроля сварных труб существенное влияние оказывают такие факторы, как: качество поверхности трубы, стабильность акустических характеристик металла стенки трубы и геометрии валика усиления сварного шва труб, стабильность настроек электрических и акустических параметров аппаратуры, стабильность поддержания установленного расстояния между пьезоэлектрическим преобразователем (ПЭП) и сварным швом в процессе взаимного перемещения одного относительно другого, стабильность температуры всех элементов системы, составляющих акустический тракт (призма ПЭП, контактная жидкость, металл стенки трубы и сварного шва). Для поддержания высокой достоверности важно обеспечение приемлемого соотношения сигнал/шум в зоне строб-импульса в динамике контроля. Мешающими при этом выступают сигналы от кромок валика усиления, являющиеся синхронными помехами, внешние электромагнитные наводки и акустические шумы, которые относятся к случайным несинхронным помехам, что также существенно снижает достоверность контроля. Качественным показателем контроля является высокая вероятность определения ориентации, размеров и вида выявленного дефекта (плоскостной, объемный или объемно-плоскостной). Некоторые известные способы борьбы с помехами описаны, в частности, в [1].

Известны различные типы систем слежения за сварным швом в процессе автоматизированного УЗ-контроля: механические, оптические, телевизионные, лазерные, ультразвуковые [2] и др., в которых автоматически стабилизируется расстояние между преобразователем и сварным швом при движении шва относительно акустической системы установки. Важным условием является учет нестабильности угла ввода УЗ-колебаний в контролируемое изделие, возникающей по причине истирания башмака, в который установлен ПЭП, и призмы ПЭП, изменения температуры призмы ПЭП, геометрических параметров трубы и др. [3]. Альтернативой стабилизации расстояния между ПЭП и швом может быть правильный выбор и формирование строб-импульса зоны контроля. Наиболее оптимальным является формирование строб-импульса, который бы следил за зоной металла шва, подлежащей контролю. Некоторые способы формирования следящего строб-импульса при УЗ-контроле сварного шва трубы при использовании различных схем прозвучивания сварного шва с валиком усиления описаны в [1].

Распознавание формы выявленных дефектов при автоматизированном ультразвуковом контроле сварных швов труб является одной из важнейших технологических задач. В известных способах для распознавания формы выявленного дефекта при автоматизированном УЗ-контроле для прозвучивания сварного шва используется как минимум Х-образная акустическая система ориентации наклонных ПЭП, работающая по эхо- и эхо-зеркальному методам. Применение тандем-метода позволяет выявлять очень опасные плоскостные дефекты типа трещин и непроваров, возникших в сварном шве, и определять их форму.

Результаты теоретических и экспериментальных исследований, проведенных автором на протяжении прошедших десятилетий, развитие микроэлектроники и вычислительной техники положительным образом отразилось на совершенствовании принципов построения многоканальных дефектоскопов для автоматизированного УЗ-контроля сварных труб в условиях производства. Вместо громоздких малоканальных аналоговых систем поэтапно внедряются новые многоканальные цифровые системы на базе управляющих вычислительных комплексов и оригинальных дефектоскопических узлов, использующих программируемые логические матрицы, системы обработки и отображения информации на программном уровне, а также управление работой установок в составе АСУТП цехов и заводов от программной загрузки параметров до проведения контроля, формирования и выдачи паспорта контроля. В настоящее время введена в эксплуатацию серия установок НК360, НК361 и НК362, созданных на базе УВК с многоканальным дефектоскопом «Интроскоп-02» последнего поколения и самых совершенных операционных систем человеко-машинного интерфейса.

Одновременно со схемным и структурным совершенствованием установок развивались принципы адаптации установок к условиям контроля и требованиям норм и стандартов, создания и внедрения новых методик контроля. УВК на базе индустриального компьютера позволяет создавать базы данных как для настройки установки, так и для запоминания и долговременного хранения результатов контроля, использовать различные сервисные устройства и выносной монитор для настройки акустических систем. Благодаря этому реализована возможность на программном уровне изменять от такта к такту параметры контроля: установки стробов, мощности генератора, подключения ПЭП различных типов, изменение схем их подключения, изменение браковочных критериев в процессе контроля в зависимости от положения акустического блока.

На основе проведенных исследований для обеспечения высокой достоверности результатов и производительности контроля сформулированы основные принципы построения установок УЗ-контроля на базе управляющих комплексов:

- реализация известных и новых достижений дефектоскопической науки и результатов исследований акустического тракта применительно к контролю сварных швов и краевых полос труб в условиях поточного производства (оптимизация параметров ПЭП, выбор схем прозвучивания с учетом технологии сварки и характера возникающих дефектов);
- разработка новых функциональных схем с гибкой структурой, позволяющих наращивать объем контролируемых параметров и изменять режимы работы дефектоскопов (число каналов, последовательная или параллельная работа и пр.);
- совершенствование функциональных узлов аппаратной части – генераторов импульсов возбуждения, усилителей, устройств АРУ, систем защиты от синхронных и несинхронных помех и слежения за сварным швом;
- использование достижений в области информационных технологий (современные управляющие комплексы, программные продукты, алгоритмы обработки информации, обеспечивающие реализацию способов помехозащиты и расшифровки характера дефектов, функции самодиагностики аппаратуры и др.).

Литература

1. Ткаченко А.А., Бобров В.Т., Кирияков В.Ф., Гаврев В.С. Способы повышения достоверности УЗК сварных швов труб с валиком усиления // В мире неразрушающего контроля. 2004. № 3. С. 28–31.
2. Ткаченко А.А., Найда В.Л., Гаврев В.С. и Мозжухин А.А. Способы и оборудование для повышения надежности автоматизированного УЗ-контроля продольных сварных швов труб в условиях их массового производства // Техническая диагностика и неразрушающий контроль. 2004. № 4. С. 19–25.
3. Ткаченко А.А. Автоматическое слежение за сварным швом с валиком усиления при нестабильности угла ввода ультразвуковых колебаний // 4-я Междунар. выставка и конф. «Неразрушающий контроль и техническая диагностика в промышленности», 17–18 мая 2005 г. М., 2005. С. 63.

1.15. НОВЫЕ СРЕДСТВА МАЛОЙ МЕХАНИЗАЦИИ УЛЬТРАЗВУКОВОГО КОНТРОЛЯ ПРОКАТА

Щербинский В.Г., Ермолов И.Н., *ОАО НПО «ЦНИИТМАШ», Москва, Россия*

Мобильные установки типа «ЛИСТ» предназначены для полистного механизированного ультразвукового контроля монометаллического и биметаллического листового проката толщиной от 6 до 150 мм.

Установки «ЛИСТ» обеспечивают оперативный высокопроизводительный ультразвуковой контроль в условиях цеха, склада и др. и не требуют специального выделенного участка (площадей).

Восьмиканальные установки типа «ЛИСТ» мобильны, просты и надежны в эксплуатации. При небольшом количестве дефектов реальная производительность контроля листов толщиной 8...12 мм доходит до 50 единиц в смену, а листов толщиной от 40 мм и выше – до 30 единиц. Применение установок «ЛИСТ» особенно целесообразно, когда автоматический контроль невозможен, т.е. в случае короткомерного листа, большой коробоватости, серповидности и волнистости.

По данным ОАО «Северсталь», в период 1999–2006 гг. в листопрокатных цехах № 1, 2, 3, несмотря на наличие в них установок автоматического контроля производства компании «Нордкирафт», установками «ЛИСТ» ЦНИИТМАШа контролировалось и контролируется около 20 % всего объема штрипса. На шести заводах страны с 1998 г. работает более 20 установок «ЛИСТ», в том числе в трех цехах ОАО «Северсталь».

В ЦНИИТМАШ разработаны и выпускаются установки «ЛИСТ» нескольких типов. Их общие характеристики.

Объект контроля – листовый прокат толщиной от 6 до 150 мм с минимальным размером листа 400 мм. Возможно расширение диапазона толщин до 300 мм.

Акустический контакт – щелевой (техническая вода).

Диапазон рабочих частот и тип преобразователей (ПЭП) зависит от толщины листа (в пределах 1,8...5,0 МГц по требованию заказчика).

Конструкция установок предусматривает быструю замену ПЭП. Все установки состоят из: тележки, изготовленной из алюминиевых сплавов, акустического блока; ультразвукового процессорного дефектоскопа с памятью кадра и настроек, наличием меню и т.п., коммутатора каналов, бачка с водой, блока световой и звуковой индикации.

У всех установок имеется опция контроля за донным сигналом, а характеристики по чувствительности обеспечивают выполнение требований по российским и зарубежным стандартам.

1.16. КОНТРОЛЬ ВНУТРЕННЕЙ СТРУКТУРЫ ОБЖАТОЙ ВЗРЫВОМ ЖЕЛЕЗНОЙ СФЕРИЧЕСКОЙ ОБОЛОЧКИ МЕТОДОМ УЛЬТРАМАЛОРАКУРСНОЙ КОМПЬЮТЕРНОЙ ГАММА-ТОМОГРАФИИ

Брезгина Л.П., Коновалов А.Б., Могиленских Д.В., ФГУП «Российский Федеральный ядерный центр Всероссийский научно-исследовательский институт технической физики им. акад. Е.И. Забабахина» (РФЯЦ-ВНИИТФ), Снежинск, Россия

Работа посвящена исследованию внутренней структуры разрушений металлических оболочек, сферически сходящихся в результате интенсивного взрывного обжата. Уникальная методика сохранения загерметизированных в момент взрывного обжата оболочек, разработанная во РФЯЦ-ВНИИТФ [1], позволяет использовать для контроля их откольных и сдвиговых разрушений методы импульсной рентгенографии [2] и компьютерной томографии [3, 4]. В условиях экспериментальной рентгенографии, когда доступен единственный источник излучения и данные регистрируются на рентгеновской пленке при ее длительной экспозиции, томографическое сканирование моделируется многократным повторением процедуры съемки для различных положений объекта исследований. В этом случае регистрация большого количества проекций практически затруднена. Если отклонение от осевой (или сферической) симметрии оболочек в процессе обжата мало, то «квази-симметричная» внутренняя структура с приемлемой точностью может быть восстановлена по минимальному числу ракурсов. В настоящей работе исследуется эффективность метода ультрамалоракурсной гамма-томографии, подразумевающего реконструкцию по двум взаимно-перпендикулярным рентгенографическим проекциям, для контроля разрушений железной сферической оболочки, имеющей на момент сохранения «квази-осесимметричную» структуру.

Эксперимент и методы обработки. В качестве источника излучения применяется малогабаритный острофокусный бетатрон с фокальным пятном размером $0,2 \times 0,8$ мм² и сравнительно небольшим значением эффективной энергии спектра фотонов (около 2 МэВ). Система регистрации представляет собой комбинацию люминесцентного усиливающего экрана и рентгеновской пленки. Собственное разрешение системы регистрации составляет приблизительно 0,5 мм. Оболочка диаметром 48 мм располагается между источником и системой регистрации так, чтобы полная тень от объекта помещалась на пленке. Ось «квази-симметрии» перпендикулярна горизонтальной плоскости. В процессе выполнения эксперимента снимаются 2 рентгенограммы с экспозицией по 30...50 рентген на каждую. При переходе от кадра к кадру оболочка поворачивается вокруг оси на 90°. В целях извлечения информации каждая пленка сканируется на лазерном сканере с маленьким фокальным пятном. Полученные цифровые данные из отсчетов сканера переводятся в экспозиции пленки по методике [2].

Для реконструкции внутренней структуры оболочки используется программа IMTOM_Abel, реализующая метод коаксиальных слоев, согласно которому 3D-объект восстанавливается послойно по одной (симметричное приближение) или двум (асимметричное приближение) проекциям. Для реконструкции каждого слоя по двум проекциям разработан алгоритм, реализующий модель Фримена [5], основанную на разложении искомой 2D-функции в ряд по радиальным гармоникам. При построении устойчивого решения интегрального уравнения Абеля используются сглаживающие кубические сплайны с алгоритмом выбора параметра регуляризации, аналогичным представленному в работе [6].

Для постобработки томограмм с целью выделения информативных областей разрушений применяются оригинальные методы нелинейной цветовой интерпретации данных [7]. В основе методов – формирование нелинейных аналитических и статистических функций соответствия между значениями визуализируемого параметра (линейного коэффициента ослабления) в пикселях и цветами цветового пространства.

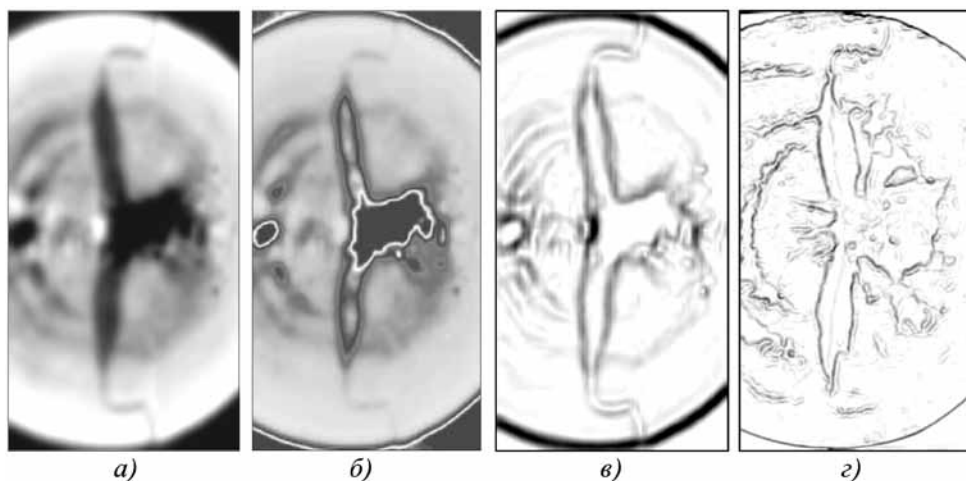


Рис.1. Изображения меридионального сечения реконструированной 3D-структуры оболочки:
а – без обработки; *б* – результат применения нелинейной палитры; *в* – результат градиентной фильтрации; *г* – обработанная фотография меридионального среза оболочки

Результаты и их анализ. Меридиональное сечение реконструированной послойно 3D-структуры оболочки представлено на рисунке в сравнении с обработанной фотографией, сделанной после электроэрозионной разрезки оболочки – на рисунке (*г*). Из визуального анализа представленных изображений следует, что исследуемый метод ультрамалоракурсной томографии позволяет вполне адекватно отображать внутреннюю структуру разрушений оболочки в случае, если отклонение от осевой симметрии относительно мало. Этот вывод подтверждает также количественное сравнение характерных линейных размеров и площадей областей разрушений, вычисленных для изображений рисунка (*в*) и (*г*).

Литература

1. Козлов Е.А., Литвинов Б.В., Тимофеева Л.Ф. и др. Структурные фазовые превращения и откольные разрушения шара из δ -фазного сплава плутония с галлием в сферических волнах напряжений // Физика металлов и металловедение. 1996. Т. 81. № 6. С. 139–157.
2. Козловский В.Н. Информация в импульсной рентгенографии. Снежинск: РФЯЦ-ВНИИТФ, 2006.
3. Kononov A.B., Mogilenskikh D.V., Vlasov V.V., and Kiselev A.N. Algebraic reconstruction and post-processing in incomplete data computed tomography: from X-rays to laser beams. Vision Systems: Applications / Eds. G. Obinata and A. Dutta Vienna: I-Tech Education and Publishing. 2007. P. 487–518.
4. Коновалов А.Б., Могиленских Д.В., Козлов Е.А. и др. Контроль откольных и сдвиговых разрушений в обжатой взрывом сферической железной оболочке методом малоракурсной гамма-томографии // Дефектоскопия. 2008. Т. 44. № 1.
5. Freeman M. and Katz S. Determination of a radiance distribution of an optically thin radiating medium // J. Opt. Soc. Am. 1963. V. 53. P. 1172–1179.
6. Морозов В.А. Регулярные методы решения некорректно поставленных задач. М.: Наука, 1987.
7. Mogilenskikh D.V. Nonlinear color interpretation of physical processes. Proc. of the 10-th Intern. Conf. on Computer Graphics and Vision «GRAPHICON'2000». М.: Moscow State University, 2000. P. 201–211.

1.17. ПРИМЕНЕНИЕ УЛЬТРАЗВУКОВОГО ИНТЕРФЕРЕНЦИОННОГО СКАНИРУЮЩЕГО ДЕФЕКТΟΣКОПА ДЛЯ КОНТРОЛЯ УЗЛОВ ТЕРМОЯДЕРНОГО РЕАКТОРА

Гурьева Т.М., ФГУП «НИИЭФА им. Д.В. Ефремова»,
Грудская Е.Г., Егоров Н.Н., ЗАО «Ассоциация «Тестрон», Санкт-Петербург, Россия

Представлены сведения об опыте применения интерференционного сканирующего дефектоскопа (ИСД) для ультразвукового контроля (УЗК) теплосъемных панелей (ТП) термоядерного реактора.

Объекты контроля представляют собой сложные многослойные конструкции с внутренними каналами для перемещения жидкого теплоносителя. Толщина слоев от 2 до 60 мм. Материалы слоев в направлении от рабочей зоны реактора к периферии распределены в порядке: вольфрам (бериллий), медь, бронза, аустенитная сталь. Для соединения слоев применялись технологии: высокотемпературная вакуумная пайка, наплавка электронным пучком, сварка взрывом. Учитывая экстремальные условия работы (высокие температура и давление теплоносителя) ТП должны подвергаться обязательному тщательному неразрушающему контролю как в процессе изготовления, так и в процессе эксплуатации. Только применение ИСД позволило реализовать эффективный УЗК столь сложных изделий с трехмерным представлением результатов контроля и фазовыми распределениями акустического поля в различных сечениях объекта контроля.

В состав ИСД входят: прецизионный двумерный сканер; восьмиканальный электронный блок дефектоскопа; высокопроизводительный компьютер. Используется иммерсионный ввод ультразвука в объект контроля с помощью набора различных пьезоэлектрических преобразователей под любыми углами. При УЗК применяли частоты от 5 до 20 МГц. Основные методы контроля: эхо- и зеркально-теневой. В каждой точке зондирования производилась запись полного А-скана без какой-либо его обработки. В процессе сканирования в реальном масштабе времени выводится традиционная дефектограмма (изменение цвета при выполнении принятого условия сравнения амплитуды сигнала с уровнем стро-ба). После завершения сканирования вся информация автоматически сохраняется в базе данных. Впоследствии в режиме постпроцессинга проводилась обработка результатов контроля методом интерференционного контраста. Исследовали интерференционные изображения сечений объекта контроля, полученные наложением прямого и дифрагированного на неоднородностях сигналов. Применение метода дифференциально-интерференционного контраста («цветного» контраста) позволяет увеличить разрешающую способность ИСД за счет дополнительного цветового оформления контуров и фона.

УЗК ТП в процессе изготовления. Предварительно контролировались заготовки для изготовления элементов конструкций. Получали изображения поверхностей и внутренней структуры деталей. Метод интерференционного контраста позволяет исключить мертвые зоны, а также получить изображения структурных неоднородностей и дефектов. На различных стадиях формирования конструкций ТП контролировалось качество высокотемпературного соединения слоев. При этом следует отметить, что при УЗК не только уверенно выявляются дефекты соединений, но и «видны» изменения структуры материалов слоев.

УЗК ТП в процессе эксплуатации. Учитывая тот факт, что в реальных условиях ТП эксплуатируются при высоких температурах и давлениях, проводили их «тренировки» в сходных условиях с последующим УЗК. Анализ результатов УЗК позволяет утверждать, что после процесса термоциклирования возможно получение информации о: деформации поверхностей ТП; изменении структуры материалов деталей; возникновении дефектов в местах соединения слоев.

Полученные с помощью ИСД сведения могут оперативно использоваться для совершенствования технологии изготовления ТП на любой стадии технологического процесса.

Секция 2. АНТИТЕРРОРИСТИЧЕСКАЯ ДИАГНОСТИКА

2.1. ОБНАРУЖИТЕЛЬНЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ СОВРЕМЕННЫХ НЕОХЛАЖДАЕМЫХ ПОИСКОВЫХ ПОРТАТИВНЫХ ТЕПЛОВИЗИОННЫХ СРЕДСТВ

Ковалев А.А., Ковалев А.В., ЗАО «НИИИИ МНПО «Спектр», Москва, Россия

В представленной работе рассматриваются возможности неохлаждаемых тепловизионных средств по обнаружению, распознаванию и идентификации различных объектов при проведении поисково-досмотровых работ.

Наиболее информативными с точки зрения обнаружительных возможностей являются ИК диапазоны 3...5,5 и 7...14 мкм, причем интервал 7...14 мкм, полностью совпадает с наиболее широким окном прозрачности атмосферы и соответствует максимальной излучательной способности наблюдаемых объектов в температурном диапазоне от –50 до +500 °С.

Тепловизионная техника обладает рядом достоинств и присущих только ей возможностей: обнаружение удаленных теплоизлучающих объектов (или целей) независимо от уровня естественной освещенности, а также до определенной степени – тепловых или других помех (дыма, дождя, тумана, снега, пыли и т.п.).

Наблюдательные или поисковые тепловизоры предназначены для обнаружения, распознавания и визуализации на фоне тепловых помех удаленных теплоизлучающих объектов (или целей). Такие системы могут дополняться автономными каналами, содержащими, как правило, отмасштабированный телевизионный канал или лазерный дальномер.

Поисковые тепловизионные системы, как и любые другие функциональные устройства, характеризуются совокупностью показателей, определяющих их эффективность, к основным из которых относятся:

- вероятность обнаружения, различения и распознавания объекта на заданной дальности;
- минимальная обнаруживаемая разность температур;
- минимальная разрешаемая разность температур;
- угловое (линейное) разрешение;
- ширина полосы захвата местности (угол обзора);
- число воспроизводимых градаций температур.

Дальность наблюдения зависит от пространственного и температурного разрешения тепловизионных систем и может быть математически определена из выражения, описывающего процесс восприятия и интерпретации изображения зрительным анализатором. Поскольку процесс наблюдения и принятия решения зависит от ряда случайных факторов и является вероятностным, введен критерий, позволяющий с определенной степенью достоверности принимать решение, т.е. говорить об успешном выполнении задачи наблюдения. Впервые такой критерий был сформулирован и развит Джонсоном (1957 г.).

В настоящей работе приводятся рассчитанные на основе критерия Джонсона результаты обнаружительных возможностей тепловизионных систем производства ЗАО «НИИИИ МНПО «Спектр» и результаты их сравнения с экспериментами.

Следует заметить, что описанные в работе выкладки относятся к горизонтальным трассам. При наклонных или вертикальных трассах числовые значения могут достаточно сильно изменяться.

Изложенный материал позволяет предварительно оценить возможности создаваемой или предполагаемой к использованию тепловизионной техники для решения поисково-досмотровых и других задач, связанных с обнаружением, выделением и распознаванием температурных аномалий.

2.2. ОПЫТ РАЗВИТИЯ МЕТОДА РЕГИСТРАЦИИ ОБРАТНОРАССЕЯННОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

Буклей А.А., ООО «ФЛЭШ ЭЛЕКТРОНИКС», Москва, Россия

Данная работа посвящена созданию технических средств рентгеновского досмотра на основе метода регистрации рассеянного излучения.

В работе теоретически и экспериментально определены возможности использования данного метода при создании малогабаритных рентгеновских систем, а также рентгеновских систем дистанционного досмотра.

Рассмотрены различные варианты построения систем, их преимущества и недостатки, возможности использования различных типов детектирующих устройств. Определены требования к рентгенооптическому тракту, технические требования к составным частям систем.

В результате проведенных исследований разработано портативное устройство индикаторного типа (ручной рентгеновский сканер «Ватсон») и малогабаритный рентгеновский комплекс с получением изображений предметов «Ватсон-ТВ», налажен их серийный выпуск. Созданы лабораторные макеты установок для дистанционного досмотра.

2.3. РАДИОЛУЧЕВЫЕ ДАТЧИКИ ДЛЯ ОХРАНЫ ПЕРИМЕТРА

Матвеев В.И., ЗАО «НИИИИ МНПО «Спектр», Москва, Россия

В докладе дан обзор современных радиоволновых систем охраны периметров иностранного и отечественного производства, а также анализ тенденций их развития.

В отличие от наиболее распространенных охранных систем видеонаблюдения, радиоволновые системы всепогодны и более помехоустойчивы. Поэтому при защите особо важных объектов охранные системы комплексируют, сочетая устройства, работающие на различных физических принципах. Оптимальным применением также считают блокирование верхней части стационарных заграждений, верхней части зданий и удаленных участков. Радиоволновые охранные устройства часто называют извещателями или сигнализаторами. В большинстве случаев они традиционно используют трехсантиметровый диапазон радиоволн. Однако появились разработки на основе диапазона 24 ГГц.

Радиоволновые извещатели и сигнализаторы в основном работают на двух принципах: на регистрации изменения электромагнитного поля в пространстве между передатчиком и приемником при пересечении зоны обнаружения нарушителем и на эффекте Доплера, срабатывающем на движение в охраняемой зоне.

Извещатели состоят из двух блоков: передатчика и приемника СВЧ-сигнала. В доплеровских системах они совмещены в одном конструктиве. Параболическая антенна передатчика формирует узконаправленный рабочий луч с регулируемой шириной зоны обнаружения и на определенную дальность. Приемник регистрирует затухание СВЧ-сигнала при появлении нарушителя в зоне луча или изменение фазы и частоты отраженного сигнала.

Извещатели устойчиво работают при воздействии сильных электромагнитных полей, имеют эффективную защиту от грозových разрядов, не реагируют на наличие травяного

или снежного покрова высотой до 0,5 м. Цифровая обработка получаемой информации позволяет отстроить извещатель от срабатываний на мелких животных, птиц, ветки деревьев и т.п. Извещатели срабатывают при пересечении зоны обнаружения нарушителем «в рост», «согнувшись» и «ползущим». При охране помещений извещатели создают широкую диаграмму направленности. Часто применяют многоканальные радиолучевые средства. В последнее время разработаны панорамные радиолокационные системы и средства радиовидения.

2.4. НОВЕЙШИЕ РАЗРАБОТКИ ОПТОВОЛОКОННЫХ И ТЕЛЕВИЗИОННЫХ ЭНДОСКОПИЧЕСКИХ СРЕДСТВ

Канцеров М.В., Кекин А.Г., Пономарев М.А., Федчишин В.Г., Хныков Ю.А.,
Стародубцева Е.Е., *ЗАО «НИИИН МНПО «Спектр», Москва, Россия*

Представлены новые решения, реализованные в ЗАО «НИИИН МНПО «Спектр» при модернизации технических эндоскопов.

В ЗАО «НИИИН МНПО «Спектр» накоплен большой опыт разработки и производства всех видов технических эндоскопов. Выпускаются все типы – волоконно-оптические, телевизионные, гибкие, полужесткие, жесткие (бороскопы). Все приборы, кроме бороскопов, обычно изготавливаются с изгибающимся в одной плоскости дистальным концом.

Для эндоскопов серии ЭТА разработан новый эргономичный корпус. Значительно сокращены габаритные размеры, при этом обращение с эндоскопом стало более удобным. При использовании эндоскопа рука занимает более естественное положение и не устает при работе. Корпус выполнен обрешиненным, в результате чего он не проскальзывает в руке во время работы. Оптимизирована схема управления работой встроенного осветителя. Подсветка включается при нажатии и удержании кнопки в течение одной секунды, выключается простым нажатием. В качестве встроенного осветителя используется новый сверхъяркий светодиод холодного белого свечения. Осуществлен переход на новый тип светодиода, что позволило на 30...40 % снизить энергопотребление прибора и, как следствие, увеличить время автономной работы прибора без замены аккумуляторов.

Разработан опытный образец жесткого телевизионного эндоскопа. Изделие состоит из двух отдельных блоков: оптической трубки и блока питания, на котором расположен монитор. Изображение из оптической трубки с помощью кабеля, соединяющего блоки, передается на монитор. Корпус оптической трубки очень удобен при работе с ним, обладая маленькими габаритами, легко помещается в человеческой руке. Наружный диаметр рабочей части оптической трубки составляет менее 1,5 мм, что позволяет визуально контролировать даже очень малодоступные полости. В приборе предусмотрены режимы работы как с включенной подсветкой, так и с выключенной. Предусмотрена возможность плавного регулирования яркости подсветки для удобства работы оператора и возможности избежать засветки изображения и очень сильных бликов. Также возможна запись изображения на сменный носитель информации и возможность последующего просмотра записанного изображения на мониторе.

Применение: в технической сфере и криминалистике – визуальный контроль труднодоступных слабоосвещенных и неосвещенных внутренних полостей различных объектов.

Секция 3. ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ДИАГНОСТИКА

3.1. СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ И СРЕДСТВА ДИАГНОСТИКИ ПОДЗЕМНЫХ КОММУНИКАЦИЙ

Изотов А.В., Кольцов В.Н., ООО «Себа Спектрум», Москва, Россия

Квалифицированная эксплуатация инженерных коммуникаций городов и населенных пунктов – один из важнейших путей улучшения **экологической обстановки** в городе. Подземные коммуникации, находящиеся в эксплуатации, имеют большую степень износа, все чаще на них образуются повреждения. Поэтому особую актуальность с точки зрения улучшения экологии сегодня приобретают задачи быстрого и точного определения места повреждения вышедшего из строя кабеля или места утечки воды. Несвоевременное устранение аварий и повреждений ведет к большим загрязнениям почвы, создает неудобства для населения, а в итоге может привести к катастрофам.

В этих условиях все большее значение приобретают специальные лаборатории, оборудованные на шасси автомобиля и позволяющие вести поиск мест прокладки коммуникаций, определять и устранять неисправности в любое время года и суток в автономном режиме. Разработкой и изготовлением таких лабораторий занимается ООО «Себа Спектрум» – совместное российско-германское предприятие, учрежденное ЗАО «МНПО «Спектр» – крупнейшее предприятие страны в области разработки приборов неразрушающего контроля и германской фирмой «Себа Динатроник», долгие годы выпускающей приборы диагностики и контроля.

Передвижные лаборатории создаются на базе отечественных автомобилей. По назначению специальные лаборатории могут быть: связными, электрическими, по поиску утечек воды, контролю водопроводных и канализационных труб, аварийно-диагностическими, теплотехническими и др.

Лаборатории, как правило, состоят из двух отсеков – отсека оператора и рабочего отсека, а при необходимости и жилого (бытового) и комплектуются независимым энергоагрегатом.

Лаборатории электрические (измерительные и испытательные) позволяют вести поиск кабельных линий и определять глубину их залегания, производить выбор одного кабеля из нескольких, проводить испытания электрооборудования, определять места повреждения оболочки кабелей, осуществлять прожиг кабелей с целью преобразования высокоомных повреждений в низкоомные с последующим определением точного места повреждения.

Аварийно-диагностические лаборатории для служб водоканалов, теплосетей и канализации оснащаются стандартным комплектом по поиску утечек, который определяет расход, давление и температуру воды, толщину стенок труб и т.д. Оборудование лаборатории позволяет вести поиск трасс подземных трубопроводов и определять глубину их залегания, расход, давление и температуру воды, находить места утечек воды дистанционным и топографическим методами.

Опыт использования передвижных лабораторий убедительно доказывает их экономическую эффективность. Так, например, эксплуатация «водяной» лаборатории в течение месяца позволила увеличить количество подаваемой воды в г. Копейск (Челябинская обл.) на 18 %. За год работы в г. Магнитогорске с помощью лаборатории исследовано 80 км магистральных сетей, 30 км городских сетей, обнаружено 43 утечки скрытого характера, проверено 188 контрольных узловых точек по городу, 43 км трасс с разбивкой на местности и т.д. Таким образом:

- вероятность правильного обнаружения места повреждений в среднем 95 %,
- время, необходимое для обнаружения места повреждения, сократилось в 7...10 раз, точность определения места повреждения составила 3...20 см;
- окупаемость передвижной лаборатории составляет 6...9 месяцев.

3.2. МУЛЬТИЗАДАЧНЫЙ МОБИЛЬНЫЙ КОМПЛЕКС ДИАГНОСТИКИ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ПОТЕНЦИАЛЬНО ОПАСНЫХ ОБЪЕКТОВ И ЭКОЛОГИЧЕСКИ ОПАСНЫХ ОБЪЕКТОВ

Будадин О.Н., Троицкий-Марков Т.Е., ООО «Технологический институт энергетических обследований, диагностики и неразрушающего контроля «ВЕМО», Москва, Россия

Современные технологии контроля качества, надежности и энергоэффективности, безопасности эксплуатации и экологической безопасности объектов – это, прежде всего, экспресс-обследования с определением точных характеристик в натурных условиях неразрушающими методами.

Для получения достоверной информации о характеристиках и состоянии внутренней структуры материалов (либо объектов) необходимо применять многопараметровый неразрушающий контроль с комплексной обработкой получаемой информации.

Инвестиционная привлекательность, а следовательно, и высокий инновационный потенциал этой сферы обеспечивается тем, что востребованность и общественное значение диагностики и неразрушающего контроля будет интенсивно возрастать по мере старения основных фондов, устойчивого роста тарифов и цен на энергоносители и вообще увеличения общего количества любых технических объектов.

Как показывает практика, перспективным направлением развития технологий экспресс-диагностики состояния технических и экологических объектов становятся неразрушающие методы контроля (тепловой, акустический и др.) с совместной обработкой результатов.

В целях мобилизации потенциала современных методов диагностики и неразрушающего контроля для решения острых проблем безопасности (технической, экологической, энергетической, эксплуатационной) обобщены наиболее эффективные методы и средства неразрушающего контроля и создан Комплекс неразрушающей экспресс-диагностики фактического технического состояния, безопасности, в том числе экологической безопасности, надежности и остаточного ресурса потенциально опасных и значимых объектов: строительных сооружений, полигонов твердых бытовых отходов, инженерных коммуникаций, энергетического и электрического оборудования и т.п. (далее комплекс), сочетающий в себе преимущества современных методов измерений, сбора и обработки многопараметровой диагностической информации.

Комплекс является мобильной, модульной программно-аппаратной системой с унифицированной системой сбора и обработки многоканальной информации в едином информационно-аналитическом концентраторе в мультизадачном режиме. Состав комплекса определяется решаемыми задачами и формируется под основные объекты контроля заказчика. Под мультизадачным режимом обработки в данном случае понимается комплексная одновременная обработка данных, полученных по различным методам контроля с совмещением результатов (по геометрическим координатам, временным координатам и т.п.).

Приборное и методическое обеспечение предусматривает применение следующих наиболее эффективных методов и средств:

- метод и средства теплового неразрушающего контроля и дефектометрии;
- оптический метод и средства контроля, в том числе оптоволоконные средства контроля труднодоступных зон и протяженных объектов на основе обратного Рамановского рассеяния;
- телевизионные эндоскопические средства;
- низкочастотный (20...200 кГц) импульсный ультразвуковой метод и средства контроля;
- акустический импедансный метод контроля;
- авторезонансный акустический метод контроля;

- акустический вибрационный метод и средства контроля;
 - акустоэмиссионный метод и средства контроля, в том числе использование метода искусственных колебаний;
 - электрические и электромагнитные методы и средства контроля;
 - методы и средства голографической интерферометрии;
 - СВЧ-методы и средства контроля;
 - методы и средства сверхширокополосной радиоинтроскопии;
 - диэлькометрические методы и средства контроля;
 - склерометрические методы и средства контроля;
 - методы и средства вибродиагностики.
- Срок поставки комплекса, включая технические и программные средства, методики контроля, обучение и сертификацию специалистов, – 4...8 мес.

Области применения и функциональные возможности комплекса

Области применения	Функциональные возможности
МЧС, Ростехнадзор, Мосгосстройнадзор, Росстрой	Мониторинг состояния потенциально опасных объектов, прочностные, упругие характеристики и сплошность материалов, пожаробезопасность, дефектоскопия, оценка остаточного ресурса и др.
Стройиндустрия	Качество строительства (дефекты, качество теплоизоляции, точка росы и плоскость промерзания), экологические показатели, параметры надежности, диагностика ограждающих, в том числе светопрозрачных конструкций, а также вышеперечисленное
Энергетика, промышленность	Диагностика состояния с оценкой остаточного ресурса эксплуатации тепло- и электрооборудования, инженерных систем и сооружений, качество электромонтажа, в том числе без вывода из эксплуатации и др.
ЖКХ	Энергетический и технический аудит, повышение надежности, эффективности эксплуатации, технического обслуживания и ремонта
Нефтегазовое хозяйство	Диагностика качества технического состояния трубопроводов и резервуаров в процессе эксплуатации и иного оборудования
Транспорт	Состояние тоннелей, электрохозяйства метрополитена, мостов, дорог, дамб, подъемного и кранового оборудования и др.

Эксплуатационно-технические характеристики комплекса

Количество обслуживающего персонала (включая водителя), чел	3...4
Общая масса технических средств, кг, не более	150...200
Вид регистрируемой информации в полевых условиях (условиях реальной эксплуатации объекта без вывода его из режима эксплуатации)	Динамическое и статическое температурное поле; динамические электромагнитные, акустические и другие поля объектов различных диапазонов волн; координаты, параметры и типологические характеристики объекта исследования; видеоизображения объектов

Результаты работы	Реальное техническое состояние и остаточный ресурс потенциально опасных объектов контроля; качество (отсутствие дефектов сплошности и структуры) материалов; безопасность и надежность конструкций; энергоэффективность конструкций; оригинальные методики контроля; обученные и аттестованные специалисты
Климатическое исполнение.	«У» категории 3

Применение комплекса обеспечивает:

- повышение надежности и технической безопасности жилого фонда, объектов социальной сферы, промышленности и энергетики;
- предупреждение возникновения аварий и чрезвычайных ситуаций на промышленных объектах;
- экономию топливно-энергетических ресурсов при потреблении и снижение потерь при хранении и транспортировке энергоносителей, продукции и отходов;
- сокращение бюджетных дотаций на ремонтно-восстановительные работы и расходов на ликвидацию последствий аварийных ситуаций и т.д.;
- создание высококвалифицированных (наукоемких) рабочих мест и специализированных организаций.

3.3. ТЕПЛОВОЙ КОНТРОЛЬ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ: ОПРЕДЕЛЕНИЕ АНИЗОТРОПНЫХ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ, ОБНАРУЖЕНИЕ И ОЦЕНКА ПАРАМЕТРОВ ДЕФЕКТОВ

Вавилов В.П., *ФГНУ «НИИ интроскопии», Томск, Россия,*

Доклад состоит из двух основных разделов: обзор мировой практики теплового контроля композиционных материалов и описание работ, выполненных в ФГНУ «НИИИН» в последние годы, включая зарубежные контракты.

Цель обзора – объяснить, почему в отдельных сегментах авиакосмической промышленности, в частности по программе космических челноков в США, тепловой контроль рассматривается в качестве ведущего, если не основного метода испытаний композиционных материалов. Описаны разработанные в последнее время алгоритмы определения «поперечных» составляющих тензора температуропроводности с использованием двумерного пространственного преобразования Фурье. Сделан обзор методов решения обратных задач, что уже позволило решить ряд задач тепловой дефектометрии.

Опыт ФГНУ «НИИИН» описан на примере теплового контроля цилиндрических и конических изделий из углепластиковых композитов. Доклад иллюстрируется применением пакета компьютерных программ ThermoCalc-6L и ThermoFit Pro, используемых для моделирования трехмерных дефектов и развитой обработки экспериментальных последовательностей инфракрасных изображений.

3.4. ВЫСОКОЧУВСТВИТЕЛЬНЫЙ РЕНТГЕНОФЛУОРЕСЦЕНТНЫЙ АНАЛИЗ И КОМПЛЕКС АППАРАТУРЫ РЛП-3-01 ДЛЯ КОНТРОЛЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РАСТВОРОВ И ЭКОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА

Колосков С.А., Кузелева Е.В., Кузелев Н.Р., Щекин К.И.,
ФГУП «ВНИИТФА», Москва, Россия

Экологический контроль окружающей человека среды, а именно контроль загрязнения почв, воды и атмосферы, анализ влияния сбросовых продуктов деятельности предприятий, представляет собой актуальную задачу.

Рентгенофлуоресцентные анализаторы, разработанные и производимые ФГУП «ВНИИТФА», эксплуатируются на крупнейших горно-обогатительных комбинатах (ГОК) и химических комбинатах, в авиации, геологии, металлургии, используются для решения экологических задач в гражданском и военном секторе.

В связи с реализацией принятых программ ускоренного развития атомной энергетики, ядерной и радиационной безопасности резко возросло значение экологического мониторинга, обеспечивающего технологии и работу оборудования применительно к обращению с радиоактивными отходами (РАО) (дозиметрия, аналитические приборы, системы пробоотбора и анализа содержания веществ и т.п.).

Результаты рентгенофлуоресцентного анализа технологических растворов уранодобывающих предприятий на содержание урана показывают, что рентгенофлуоресцентная спектрометрия при использовании технологий осаждения соединений урана на тонкие пленки с последующим высушиванием жидких образцов дает возможность при 5-минутных измерениях получить порог обнаружения порядка 5 мкг/л.

Рентгенофлуоресцентный анализ способен обеспечить анализ технологических растворов на уран с требуемой чувствительностью даже по экологическим требованиям.

Вторым направлением применения экологического мониторинга на основе рентгенофлуоресцентного анализа являются технологии переработки промышленных отходов и очистки сред, в том числе для объектов, не подведомственных Росатому (например, нефтегазовая отрасль, горно-обогатительные производства, коммунальные службы и т.д.).

При контроле загрязнения почв в качестве основного показателя выступает содержание в них химических веществ, в том числе тяжелых и токсичных металлов.

Чувствительность анализа по вторичным флуоресцентным спектрам выше, чем чувствительность анализа по первичным спектрам. Исследования показали возможность использования эффекта полного внешнего отражения (ПВО) при рентгенофлуоресцентном анализе жидких сред при контроле окружающей среды. Показано, что порог определения массовых долей химических элементов в жидких средах составляет 0,3 мкг/л. Время анализа от 20 до 200 с.

Прибор рентгенофлуоресцентный РЛП-3-01Э сертифицирован как средство измерения. Методическое обеспечение включает в себя: измерения массовых концентраций ионов тяжелых металлов в почвах МВИ-2420/31–97, массовых концентраций ионов тяжелых металлов в водных средах МВИ-2420/32–97, массовых концентраций ионов тяжелых металлов в воздушных средах МВИ-2420/33–97.

Таким образом, комплекс рентгенофлуоресцентной аппаратуры РЛП-3-01Э обеспечивает экологический мониторинг на тяжелые и токсичные элементы водных и воздушных сред, а также почв с отбором проб и является мощным аналитическим средством, позволяющим проводить контроль на уровне предельно допустимой концентрации – ПДК питьевой и сбросных вод, а также пылевых выбросов и атмосферы на содержание тяжелых и токсичных элементов.

3.5. СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ АКУСТИКО-ЭМИССИОННОГО МОНИТОРИНГА

Кожаринов В.В., *TUV Nord Baltik, Рига, Латвия*

Как показывает опыт, такие опасные объекты и оборудование, как магистральные трубопроводы, порталные краны, сосуды высокого давления и т.д., изготавливаются из толстолистового проката, в связи с чем дефекты, возникающие в результате этого процесса (проката), термообработки, загиба и сварки листов, а также во время эксплуатации, могут проявлять себя как источники зарождения усталостных трещин. Обнаружение подобных источников дефектов на стадии их зарождения в настоящее время становится задачей номер один в области физики неразрушающего контроля. Наиболее перспективным методом неразрушающего контроля (если не единственным), который позволяет решить данную задачу, является метод акустической эмиссии (АЭ). Эффективность применения АЭ-метода неразрушающего контроля на практике во многом зависит от следующих шагов по его осуществлению:

- 1) корректное построение схемы размещения АЭ-преобразователей;
- 2) проведение предварительных работ по оценке влияния материала объекта контроля на основные параметры АЭ-контроля;
- 3) оценка (в том числе аппаратная) мешающих факторов;
- 4) построение технологической карты АЭ-контроля с учетом пожеланий заказчика и уровня опасности контролируемых дефектов.

Естественно, что решение поставленной задачи на каждом этапе основано на полной их взаимосвязи. В работе планируется рассмотреть каждый из этапов подготовки к АЭ-контролю в контексте с последующей возможностью осуществления АЭ-мониторинга контролируемого объекта в реальном режиме времени. Остановимся более подробно на вопросе оценки мешающих факторов. Как показывает собственный опыт учета мешающих факторов, в основном это относится к помехам, вызванным трущимися частями объекта и к внешним электромагнитным помехам, решение этой задачи на современном этапе возможно путем решения обратных задач в режиме самообучающейся системы. Особенно хороший эффект такой подход дает при непрерывном в течение длительного времени АЭ-контроле (в режиме мониторинга), что позволяет в значительной степени повысить эффективность работы АЭ-системы за счет усиления чувствительности АЭ-преобразователей и в связи с этим создания возможности регистрации АЭ-сигналов от развивающихся дефектов на ранней стадии. Такой подход позволяет путем перенастройки каналов по чувствительности и выбору частотного диапазона (что решается программным обеспечением) повысить точность определения координат дефектов.

3.6. АКУСТОЭМИССИОННЫЙ КОНТРОЛЬ И ДИАГНОСТИКА ВЕЧНОМЕРЗЛЫХ И ПРОМЕРЗАЮЩИХ ОСНОВАНИЙ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ

Потапов А.И., Павлов И.В., *Северо-Западный государственный заочный
технический университет, Санкт-Петербург, Россия*

Освоение Крайнего Севера и развитие хозяйственной деятельности связано с поддержанием постоянного температурного режима оснований фундаментов инженерных сооружений, дорог, промышленных, гражданских и общественных зданий.

Водонасыщенные грунты, из которых состоят фундаменты, особенно мелкодисперсные, при промерзании увеличивают свой объем на 30...40 % от исходного, при

оттаивании происходит обратный процесс, при этом значительная часть оснований сооружений претерпевает большие деформации (вплоть до аварийных). Особенно это явление сказывается на протяженных объектах типа аэродромов, шоссейных дорог и на фундаментах сосредоточенных объектов типа башен и мачт радиорелейной связи, высотных труб рассеивания, пусковых шахт и т.д. Просадки и пучения грунтов вследствие локального протаивания вечномерзлых и промерзающих грунтов приводят к разрыву трубопроводов и экологическим катастрофам. Прогнозирование и фиксация начала разрушения оснований фундаментов зданий и сооружений на вечномерзлом грунте различного состава и влажности является актуальной задачей.

Для решения этой задачи авторами предлагается принципиально новая методика и аппаратура для ее реализации, основанная на акустоэмиссионном (АЭ) методе неразрушающего контроля, так как разрушению структуры мерзлых грунтов предшествует акустическое излучение достаточной интенсивности. Авторами были экспериментально установлены и изучены закономерности возникновения АЭ, предшествующие разрушению нагруженных оснований объектов, расположенных на вечномерзлых и промерзающих грунтах, разработаны принципы методики предупреждения аварийных состояний и создания автоматизированных диагностических систем на их основе.

Для проведения экспериментов использовалась информационно-измерительная система, включающая в себя: термонагружающее устройство, пьезоэлектрический преобразователь с предварительным усилителем, блок регистрации параметров сигналов АЭ (прибор АФ-15), блок регистрации поля температур в термонагружаемой среде и блок синхронизации и вывода зарегистрированной информации (ЭВМ, графопостроитель). Опыты проводили на образцах грунта, помещенных в полусферическую резиновую камеру диаметром 3 см, шлифованная плоскость которой через масло приводилась в акустический контакт с датчиком. Термонагружающее устройство представляло собой металлическую емкость, заполняемую охлаждающей смесью, что при варьировании состава, компонентов и объема задает режим термонагружения.

Полученные в первом приближении результаты дают возможность прогнозировать процесс разрушения структуры мерзлого грунта, находящегося в области отрицательных температур, а также являются основой для расчетов течения тонких пленок связанной воды в процессе промерзания. Исследованы особенности развития АЭ при промерзании и оттаивании грунтов различного гранулометрического состава и влажности. Установлена связь активности АЭ от степени водонасыщения, типа грунта и температурного градиента.

Показано, что на основе данных эмиссии можно определить начало разрушения твердомерзлой структуры, а также получить информацию о степени пучинистости грунта.

Предложена методика прогнозирования начала разрушения оснований сооружений из-за потери несущей способности грунтов и аппаратура для ее осуществления.

Разработанный диагностический комплекс и методическое обеспечение могут найти применение при контроле газопроводов различного назначения и после незначительных переделок и доработки программного продукта могут применяться в различных отраслях промышленности: машиностроении, строительстве, атомной энергетике и др.

Секция 4. СЕРТИФИКАЦИЯ, МЕТРОЛОГИЯ, СТАНДАРТИЗАЦИЯ, ОСТАТОЧНЫЙ РЕСУРС

4.1. АККРЕДИТАЦИЯ ОРГАНОВ ОЦЕНКИ СООТВЕТСТВИЯ В ОБЛАСТИ НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ И РЕЗУЛЬТАТЫ ИХ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ В ЕДИНОЙ СИСТЕМЕ ОЦЕНКИ СООТВЕТСТВИЯ НА ОБЪЕКТАХ, ПОДКОНТРОЛЬНЫХ РОСТЕХНАДЗОРУ

Коновалов Н.Н., Шевченко В.П., Кочеткова О.Н.,
НТИЦ «Промышленная безопасность», Москва, Россия

Одним из направлений обеспечения промышленной безопасности является эффективная и надежная организация неразрушающего контроля (НК) как метода, позволяющего оценивать состояние объекта контроля без нарушения пригодности его к дальнейшему применению и эксплуатации. Однако использование самых совершенных видов (методов) НК не является гарантией качества (бездефектности) проверенных изделий, если контроль осуществляет неквалифицированный специалист, используются ненадлежащие методические документы и средства контроля и отсутствует независимый контроль за структурными подразделениями организаций, выполняющих работы по НК. Важная роль в повышении эффективности и достоверности НК технических устройств и сооружений, применяемых на опасных производственных объектах, принадлежит организационному и справочно-аналитическому обеспечению работ, потребовавшему создания Системы НК на опасных производственных объектах. Для обеспечения эффективного и достоверного неразрушающего контроля должны быть реализованы возможности применяемых технических средств и методических документов, введены современные требования к аттестации персонала и управлению деятельностью структурных подразделений, проводящих неразрушающий контроль.

Система НК осуществляет свою деятельность в рамках Единой системы оценки соответствия на объектах, подконтрольных Федеральной службе по экологическому, технологическому и атомному надзору (ЕС ОС Ростехнадзора). Одним из основных элементов управления Системой НК определены процедуры аккредитации независимых органов и аттестации персонала, лабораторий, методических документов и средств НК.

Исходя из основных положений Федерального закона «О промышленной безопасности опасных производственных объектов» Система НК решает следующие основные задачи: совершенствование организационно-методического и научно-технического обеспечения деятельности в области НК; повышение квалификации персонала, компетентности лабораторий, технического уровня методических документов и средств НК; гармонизация правил и процедур Системы НК с требованиями и критериями международных и европейских стандартов по НК; аттестация персонала, лабораторий, методических документов и средств НК; формирование банка данных аттестованного персонала, лабораторий, методических документов, средств НК и информационное обеспечение Системы НК.

Аттестация персонала осуществляется в соответствии с Правилами аттестации персонала в области неразрушающего контроля (ПБ 03-440-02). Правила охватывают все виды (методы) НК и всю номенклатуру технических устройств, зданий и сооружений, применяемых на опасных производственных объектах, гармонизированы с требованиями и процедурами Системы НК и международных стандартов в области аттестации персонала НК. ПБ 03-440-02 устанавливают требования к образованию, общей и специальной подготовке

(в том числе минимальным срокам подготовки), минимальному производственному опыту персонала в области НК по видам (методам) НК: ультразвуковому, акустико-эмиссионному, радиационному, магнитному, вихретоковому, проникающими веществами, вибродиагностическому, электрическому, тепловому, оптическому, визуальному и измерительному контролю. В них сформулированы квалификационные требования и процедуры обязательной аттестации персонала в области НК по трем квалификационным уровням, порядок проверки знаний правил промышленной безопасности подконтрольного Ростехнадзору оборудования. Аттестация проводится аккредитованными независимыми органами по аттестации персонала в области неразрушающего контроля (НОАП), задачей которых является независимая от заинтересованных сторон аттестация специалистов НК на соответствие квалификационным уровням по ПБ 03-440-02. Область аккредитации НОАП определяется объектами контроля и видами (методами) НК, по которым орган правомочен проводить аттестацию персонала в области НК по установленным уровням квалификации. По состоянию на декабрь 2007 г. статус НОАП имели 27 организаций. В реестр Системы НК внесен 34 321 специалист НК. Независимые органы по аттестации лабораторий (НОАЛ) проводят аттестацию лабораторий неразрушающего контроля (ЛНК), выполняющих НК технических устройств и сооружений, применяемых и эксплуатируемых на опасных производственных объектах, в соответствии с Правилами аттестации лабораторий неразрушающего контроля (ПБ 03-372-00). По состоянию на декабрь 2007 г. в Системе НК действовало 35 НОАЛ. Аттестованы 3283 ЛНК.

Учитывая, что только комплексный подход к вопросам обеспечения качества подготовки и аттестации специалистов НК и применяемых методических документов, организации процесса контроля, а также состояние и технический уровень используемых средств контроля обеспечивают необходимый уровень качества и достоверность НК, приняты документы по аттестации методических документов и средств НК. В соответствии с принятой концепцией развития Системы НК проводятся работы по аккредитации независимых органов по аттестации методических документов и средств НК.

В настоящее время деятельность по неразрушающему контролю расширяется на другие объекты, подконтрольные Ростехнадзору. В связи с созданием ЕС ОС Ростехнадзора возникла потребность расширить сферу деятельности в области неразрушающего контроля на объекты электро- и теплоэнергетики, объекты использования атомной энергии, объекты строительства и соответственно ввести аттестацию персонала и лабораторий для этих объектов.

Ведутся работы по разработке методических документов по НК. В 2003 г. Госгортехнадзором России введены в действие Правила организации и проведения акустико-эмиссионного контроля сосудов, аппаратов, котлов и технологических трубопроводов (ПБ 03-598-03) и Инструкция по визуальному и измерительному контролю (РД 03-606-03). В 2006 г. Ростехнадзором и НТЦ «Промышленная безопасность» разработаны методические документы по вихретоковому, тепловому, магнитопорошковому и капиллярному контролю технических устройств и сооружений, применяемых и эксплуатируемых на опасных производственных объектах. В 2007 г. разработаны методические рекомендации о порядке проведения радиационного контроля технических устройств и сооружений. В указанных рекомендациях изложены вопросы организации и технологии контроля конструкций и деталей при изготовлении, строительстве, монтаже, ремонте, реконструкции, эксплуатации, техническом диагностировании (освидетельствовании) технических устройств и сооружений, применяемых и эксплуатируемых на опасных производственных объектах.

4.2. АТТЕСТАЦИЯ ЛАБОРАТОРИЙ НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ. ТЕХНИЧЕСКИЕ И ОРГАНИЗАЦИОННЫЕ ОСОБЕННОСТИ

Бобров В.А., Вадковский Н.Н., Дергачев Е.Н., Назаркин Г.М.,
*ОАО «Российская экспертная компания по объектам повышенной опасности»,
ОАО «РосЭК», Москва, Россия*

В настоящем сообщении представлен опыт работы по аттестации лабораторий неразрушающего контроля, которую проводит независимый орган ОАО «Российская экспертная компания по объектам повышенной опасности» (ОАО «РосЭК»).

В России в системе Госгортехнадзора аттестация лабораторий началась в 1996 г. Руководящим органом по аттестации лабораторий была определена ОАО «РосЭК». Был разработан пакет документов, регламентирующих требования к лабораториям, органам по аттестации лабораторий, процедуре выполнения аттестации. Была создана система, в которую в том числе входили 25 органов по аттестации лабораторий. Был накоплен определенный опыт, который был использован при разработке системы неразрушающего контроля. В 2000 г. введены в действие Правила аттестации и основные требования к лабораториям неразрушающего контроля ПБ 03-372-00.

В настоящее время аттестация лабораторий неразрушающего контроля проводится в рамках Единой системы оценки соответствия на объектах, подконтрольных Ростехнадзору.

Основными критериями, по которым ведется оценка компетентности лабораторий, являются персонал, техническое оснащение, документация, система качества.

Персонал. Требования к персоналу изложены в ПБ 03-440-02.

Техническое оснащение. Требования к техническому оснащению изложены в стандартах и методических документах на контроль.

Документация. Требования к документации изложены в ПБ 03-372-00.

Система качества. Требования к системе качества изложены в ПБ 03-372-00.

Порядок аттестации лабораторий в правилах определен достаточно четко. В то же время есть несколько проблем. В их числе:

- оценка возможности применения АРД-диаграмм для ультразвукового контроля;
- расширение области аттестации;
- перерегистрация лабораторий;
- отчетные документы.

4.3. СЕРТИФИКАЦИЯ ПЕРСОНАЛА В ОБЛАСТИ НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ ПО РОССИЙСКИМ И МЕЖДУНАРОДНЫМ СТАНДАРТАМ

Бирюкова Н.П., *ООО «НУЦ «Качество», Москва, Россия*

В статье изложены результаты более чем 12-летнего опыта работы по сертификации персонала в области неразрушающего контроля в соответствии с требованиями российских и международных стандартов.

Более чем 12 летний опыт работы по сертификации персонала в области неразрушающего контроля в соответствии с требованиями российских и международных стандартов серии EN 473, EN 4179, ISO 9712 позволил отработать четкую процедуру сертификации, функционирующую в настоящее время в НУЦ «Качество».

Обучение и подготовка проводятся по программам, специальные разделы которых соответствуют областям сертификации, сборники экзаменационных вопросов гармонизированы.

Процедура приема квалификационных экзаменов отработана таким образом, чтобы обеспечить объективность, достоверность, исключение ошибок при определении квалификационного уровня кандидатов.

Общий и специальный экзамены сдаются в письменной форме, разработана специальная компьютерная программа, основными отличительными особенностями которой являются: обеспечение каждому кандидату вопросов одинакового уровня сложности из каждого раздела темы и распечатка протокола экзамена и вопросов, на которые кандидат дал неверные ответы.

В центре создана и функционирует программа статистической обработки ответов на вопросы с целью выявления упрощенных или некорректных. Данные учитываются при актуализации сборников вопросов, которая проводится не реже 1 раза в полгода.

Разработан протокол оценки результатов по основным параметрам как технологического рабочего процесса, так и практической работы с весовыми коэффициентами для каждого из параметров.

Созданная система, единый подход и учет специальных отраслевых требований позволили центру получить аккредитацию в различных производственных секторах и системах, в том числе в Единой системе оценки соответствия Ростехнадзора, Системе РОНКТД, в областях авиации, судоходства (Российский морской регистр судоходства) и др., а также получить широкую область аккредитации по стандартам ISO 17024, EN 473, EN 4179, ISO 9712, ISO 9001.

Заслуживает внимания тот факт, что за рубежом появилась тенденция аккредитации учебных центров. НУЦ «Качество» получил сертификат NANDTV CERMANY на проведение обучения в области авиации в соответствии с требованиями EASA AMC 145 для сертификации в соответствии с EN 4179.

Центр внимательно следит за новыми версиями стандартов по сертификации. Так, реализована процедура сертификации по методу оценки напряженно-деформированного состояния материалов конструкций, введенному в ISO 9712 в 2005 г.

Разработана документация и начата сертификация по этому методу контроля, которая подтвердила актуальность и своевременность введения курса.

4.4. «СПЕКТРСЕРТ» – НЕЗАВИСИМЫЙ ОРГАН ЗАО «МНПО «СПЕКТР» – ОПЫТ ПОЛУЧЕНИЯ ПРИЗНАНИЯ И РЕГИСТРАЦИИ В EFNDT

Королев М.В., Лисицын В.И., Туробов Б.В., Тарасенков Г.А., Глотов Д.А.,
ЗАО «МНПО «Спектр», Москва, Россия

Работа независимого органа по аттестации персонала «СПЕКТРСерт» (ЗАО «МНПО «Спектр») проводится по двум направлениям:

- сертификация персонала в области неразрушающего контроля в Системе добровольной сертификации, зарегистрированной в Федеральном агентстве по техническому регулированию и метрологии;
- аттестация персонала в Единой системе оценки соответствия на объектах, подконтрольных Ростехнадзору.

Развитие различных отраслей промышленности, в особенности индустрии добычи нефти и газа, обуславливает необходимость строительства оборудования нефтяной и газовой промышленности, в том числе газонефтепродуктопроводов большой протяженности. Это способствует все более широкому применению методов и средств неразрушающего контроля в различных областях промышленности и возрастанию потребности в квалифицированных специалистах, способных проводить контроль на разных стадиях производства продукции и ее эксплуатации.

Орган по аттестации «СПЕКТРСерт» в этих условиях видит основную задачу в том, чтобы, не снижая высокого качества подготовки и сертификации персонала, удовлетво-

рять эту возрастающую потребность. Успешно решать такую сложную задачу удается, в частности, благодаря оптимизации процесса подготовки, аттестации и привлечению к нему высококвалифицированных преподавателей и экзаменаторов. Так, в «СПЕКТРСерт» в настоящее время работают 2 профессора, доктора технических наук, 5 кандидатов технических наук и 2 кандидата физико-математических наук. Способствует этому и привлечение к аттестации в качестве преподавателей и экзаменаторов ведущих специалистов других организаций. Это позволило получить в прошедшем 2007 г. следующие результаты: аттестовано на уровень I – 189, на уровень II – 1284 и на уровень III – 67 специалистов.

Наряду с повседневной работой по аттестации персонала в «СПЕКТРСерт» осуществляется и расширение области его аккредитации: так, в последнее время было получено право аттестовывать персонал по тепловому методу НК. Учитывая возрастающие требования промышленной безопасности, «СПЕКТРСерт» расширил область аккредитации на аттестацию специалистов по НК в области оборудования металлургической промышленности, а затем и в области новых для Ростехнадзора объектов «Здания и сооружения». Таким образом, «СПЕКТРСерт» в настоящее время проводит подготовку и аттестацию персонала на I, II и III квалификационные уровни по девяти методам НК и семи промышленным объектам повышенной опасности, подконтрольным Ростехнадзору. В ближайшем будущем орган «СПЕКТРСерт» планирует расширение области аккредитации еще на один объект – «Оборудование электроэнергетики».

В начале марта 2007 г. коллектив «СПЕКТРСерт» успешно прошел итоговый аудит в Европейской федерации неразрушающего контроля (EFNDT), в ходе которого подверглись тщательной проверке все компоненты деятельности органа по сертификации и в особенности соответствие документооборота требованиям Системы управления качеством и соблюдение процедуры проведения квалификационных экзаменов. Положительное заключение европейских аудиторов Джона Томпсона и Ханнелоры Вессель дало основание Президенту исполнительного комитета EFNDT по сертификации П. Фалуа (P. FALLOUEY) выдать сертификат утверждения и сертификат о регистрации органа по сертификации персонала НК «СПЕКТРСерт» в EFNDT, что и было сделано 4 апреля 2007 г. Область сертификации охватывает 4 метода контроля: радиографический, проникающими веществами, магнитный и визуальный в секторе продукции «Сварные изделия» и промышленном секторе «Производство металла и изделий из него».

Сертификаты EFNDT остаются в силе до 4 апреля 2010 г. «СПЕКТРСерт» теперь проводит сертификацию персонала с выдачей сертификата, признаваемого на европейском уровне. Происходящее в настоящее время расширение международного сотрудничества обуславливает постоянно возрастающую потребность в специалистах неразрушающего контроля, сертифицированных на европейском уровне.

4.5. ОПЕРАТИВНАЯ МЕТАЛЛОГРАФИЯ И ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОСТАТОЧНОГО РЕСУРСА

*Филинов М.В., Фурсов А.С., ЗАО «НИИИН МНПО «СПЕКТР»,
Гольдштейн Р.В., ИПМех РАН, Москва, Россия*

В связи с тем что в настоящее время в России увеличивается износ основных фондов во всех отраслях промышленности, остро встает необходимость решения двух задач: диагностики фактического состояния оборудования и оценки его остаточного ресурса.

Важными характеристиками, влияющими на остаточный ресурс, являются параметры структуры металла (например, балл зерна), из которого изготовлен объект. В ходе эксплуатации в металле происходят изменения, связанные с процессами старения, межкри-

сталлитной коррозии, обезуглероживания, с ростом зерна, фазовым наклепом, сфероидизацией перлита и т.п. Все эти изменения сказываются на эксплуатационной надежности оборудования и могут быть оценены лишь при условии проведения металлографического анализа.

Учитывая это, предлагается придерживаться следующих требований к оборудованию и методам диагностирования:

- диагностика сама по себе не должна снижать остаточный ресурс оборудования, т.е. должны применяться, по возможности, только неразрушающие методы контроля;
- остаточный ресурс должен определяться не только по уже возникшим макродефектам, обнаруживаемым методами классической дефектоскопии; исследованию и количественной оценке оптическим методом – металлографией должна подвергаться также структура металла и микродефекты кристаллической структуры;
- оборудование металлографии должно быть портативным, позволяющим вести контроль непосредственно на объекте; оно должно быть надежным, обеспечивать устойчивую работу в широком диапазоне температур и климатических условий;
- оборудование металлографии должно представлять собой аппаратно-программные комплексы для снижения субъективного фактора при получении количественных оценок структуры металла по его изображению;
- цифровой оптико-электронной системой должно обеспечиваться качество изображения, позволяющее получать количественные оценки структуры металла с необходимой (в идеале – с максимально возможной для оптического метода точностью).

Для обеспечения перечисленных требований в ЗАО «НИИИН МНПО «Спектр» созданы аппаратно-программные комплексы, позволяющие:

- проводить полный цикл металлографического контроля непосредственно на объекте контроля;
- реализовывать автоматизированные процедуры анализа изображений для повышения производительности контроля в полевых условиях;
- повышать точность измерений на основе разработанной обобщенной математической модели цифровой оптико-электронной регистрирующей системы для компенсации искажений с учетом их неоднородности в поле зрения оптического тракта.

В настоящее время в ЗАО «НИИИН МНПО «Спектр» совместно с ИПМех РАН ведутся исследования по разработке количественных моделей и методов оценки остаточного ресурса с использованием данных оперативной металлографии и выделению классов оборудования и условий эксплуатации, для которых применение оперативной металлографии наиболее эффективно и может играть определяющую роль.

4.6. СТАНДАРТИЗАЦИЯ, МЕТРОЛОГИЯ И ОЦЕНКА СООТВЕТСТВИЯ В ОБЛАСТИ НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ С УЧЕТОМ МЕЖДУНАРОДНОГО ОПЫТА

Муравская Н.П., ФГУП ВНИИОФИ, Москва, Россия

В настоящее время методы неразрушающего контроля используются практически во всех особо ответственных областях народного хозяйства (атомная и тепловая энергетика, нефте- и газодобывающая отрасли, авиационная и космическая техника, транспорт, строительство, металлургия и др.).

Неоднократно говорилось, что для того чтобы быть уверенным в достоверности проведенного контроля, необходимо наличие трех основных факторов:

- оборудования для контроля;
- нормативных документов;
- квалифицированного персонала.

Очевидно, для обеспечения легитимности и правильности обеспечения трех основных факторов необходимо очень четкое проведение работ по стандартизации, метрологии и оценке соответствия.

На сегодняшний день очень важной проблемой является гармонизация межгосударственных стандартов с международными, особенно со стандартами ИСО. В проекте Программы национальной стандартизации на 2008–2012 гг. предусмотрено внедрение более 20 стандартов ИСО и переработка действующих национальных стандартов разработки 20-летней давности. Технический комитет по стандартизации ТК 371 активно взаимодействует с аналогичным техническим комитетом в области НК ИСО ТК 135. В настоящее время в ТК 135 появилось два подкомитета: в области акустической эмиссии и инфракрасной термографии.

Проведение работ по стандартизации с учетом необходимости внедрения, в первую очередь, стандартов ИСО было бы трудно представить без участия ведущих ученых и специалистов в области НК, а также РОНКТД.

Как известно, внедрение стандартов подразумевает также и создание средств контроля и средств метрологического обеспечения для проведения тех или иных работ в области НК. Поэтому стандартизация не может «жить» без метрологии, а метрология – без стандартизации.

В области метрологии основные проблемы связаны с разработкой новых мер для поверки дефектоскопов и толщиномеров для различных методов НК, а также их нормативное обеспечение и обеспечение прослеживаемости результатов измерений до единиц СИ и национальных эталонов. Конечно, это не полный перечень проблем по метрологическому обеспечению неразрушающего контроля. В различных областях активно внедряются новые автоматизированные методы контроля, активизируется применение средств для расшифровки рентгенограмм и других неизмерительных средств контроля.

В области оценки соответствия необходимо создание комплекса документов по аккредитации лабораторий неразрушающего контроля с учетом требований ИСО/МЭК 17025 и других международных документов.

Очень важным направлением работ в области стандартизации, метрологии, оценки соответствия является взаимодействие в этих областях со странами СНГ. Для упорядочения этих работ в 1996 г. в Межгосударственном совете по стандартизации, метрологии и сертификации стран СНГ (МГС) была создана Рабочая группа по НК.

В последние два года рабочей группой были разработаны и в настоящее время находятся в стадии голосования два важных нормативных документа: межгосударственный технический регламент «Обеспечение безопасности особо опасных и ответственных объектов. Организация и порядок проведения работ при выполнении неразрушающего контроля»; межгосударственный стандарт «Требования к методикам неразрушающего контроля. Порядок их разработки и аттестации». Кроме того, ведется разработка процедуры взаимного признания результатов аккредитации лабораторий неразрушающего контроля в странах СНГ.

4.7. ОЦЕНКА ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ И РЕСУРСА ПРОМЫСЛОВЫХ ТРУБОПРОВОДОВ С ВНУТРЕННИМ ПОКРЫТИЕМ И ЗАЩИТОЙ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ВНУТРИТРУБНОЙ ДИАГНОСТИКИ МАГНИТНЫМ МЕТОДОМ

Житников Ю.В., «ИНТЕРКОР РУС», Москва, Россия

В работе представлена система организации контроля и подходы по оценке технического состояния промышленных трубопроводов с внутренним покрытием и защитой сварных соединений методом выборочного и сплошного контроля с использованием ВТД (внутритрубая диагностика). Описаны конструкционные и технологические особенности стальных трубопроводов с внутренним покрытием и защитной втулкой. Проанализированы имеющиеся подходы по контролю и оценке технического состояния трубопроводов и представлены проблемы контроля и оценки технического состояния трубопроводов с внутренним покрытием и защитой сварных соединений.

Для обоснования возможности применения методов ВТД выполнены стендовые испытания трубопровода с внутренним покрытием и защитной втулкой сварного соединения. Исследования проводились на полигоне компании «Розен Европа», RTRC (ROSEN Technology and Research Center) в г. Линген, Германия. Для испытаний катушка с защитной втулкой Целлер (диаметр 530×10 мм, сталь 09ГСФ, внутреннее защитное эпоксидное покрытие типа Amercoat 2171, защитная втулка Целлер) была вварена в трубопровод того же диаметра. Стендовые испытания проводились пропуском магнитного внутритрубного снаряда компании «Розен» по трубопроводу с испытательной катушкой. Результаты исследования представлены в данном сообщении.

В работе изложены подходы по организации системы выборочного и сплошного контроля и по оценке технического состояния. Определены возможные причины и механизмы отказов трубопроводов с внутренним покрытием и защитой сварных соединений, места повышенного риска отказа на трассе трубопроводов, а также виды предельных состояний трубопровода с внутренним покрытием и защитной втулкой. Представлены подходы по проведению расчетов на прочность и остаточный ресурс.

4.8. АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ УЛЬТРАЗВУКОВАЯ СИСТЕМА ДИАГНОСТИКИ ДЕФЕКТНЫХ СЕЧЕНИЙ РЕЛЬСОВ С ВИЗУАЛИЗАЦИЕЙ ДЕФЕКТА И РАСЧЕТОМ ОСТАТОЧНОГО РЕСУРСА

Вопилкин А.Х., Заушицын А.В., Кононов Д.А., Тихонов Д.С.,
НПЦ «ЭХО+», Москва, Россия

В докладе описывается технология ультразвуковой диагностики рельсов эксплуатируемых в ОАО «РЖД» с использованием мобильной системы визуализации дефектов рельса по всему объему металла с расчетом остаточного ресурса.

Ультразвуковая система диагностики может быть применена для подтверждения наличия, определения местоположения и фактических размеров внутренних дефектов в рельсах типа Р65, Р50, Р70, выявленных ранее в процессе штатного контроля рельсов в пути средствами ультразвуковой дефектоскопии, и расчета наработки рельса, млн т, brutto, до последующего контроля системой дефектного участка. Вычисления вели с применением методики расчета скорости роста дефектов различного типа (кода).

Обосновано применение схемы контроля, реализованной в системе диагностики рельса, использующей пьезоэлектрические преобразователи с рабочей частотой 5,0 МГц и отличающейся от схем контроля других средств ультразвукового неразрушающего контроля, применяемых в дефектоскопии рельсов в настоящее время.

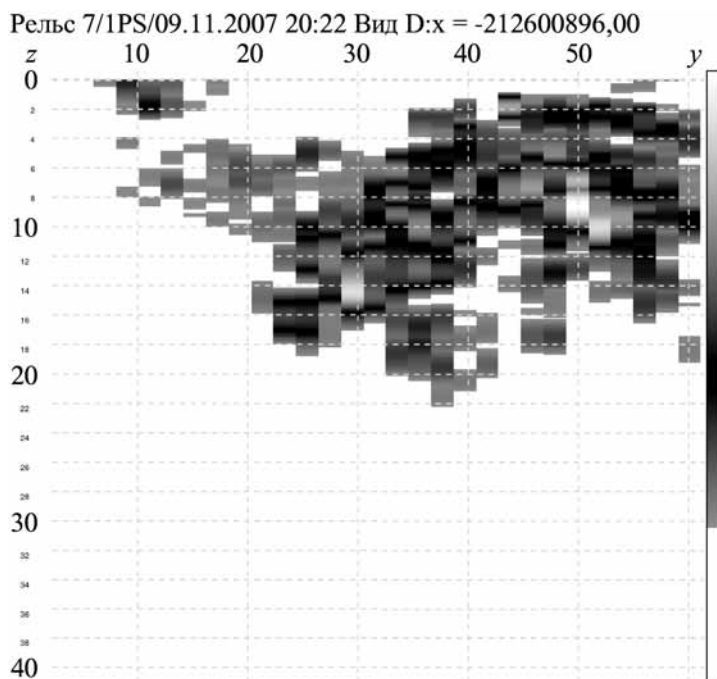
На пробах острodefектных рельсов, изъятых из пути, проведены эксперименты, подтверждающие возможность использования данного метода контроля для получения изображения дефектов с высоким разрешением.

Для АУЗК головки рельса применяли два совмещенных пьезопреобразователя на частоте 5,0 МГц с углами ввода 70° , излучающие навстречу друг другу, а также два прямых пьезопреобразователя на частоту 5,0 МГц, работающие в раздельно-совмещенном режиме. Для проведения АУЗК шейки и подошвы рельса используются два совмещенных пьезопреобразователя на частоте 5 МГц с углами ввода 40° , излучающие навстречу друг другу, а также один прямой пьезопреобразователь на частоте 5,0 МГц, работающий в раздельном и раздельно-совмещенном режимах.

Восстановление изображений различных дефектов в пробах рельсов по зарегистрированным эхосигналам проводилось с помощью когерентного метода проекции в спектральном пространстве (ПСП). Анализ вскрытия дефектов показал хорошую сходимость параметров несплошностей, измеренных автоматизированной системой ультразвуковой диагностики и методами металлографии и фрактографии. Погрешность определения размеров методом голографии составила 5 %.

На рисунке представлено восстановленное изображение вертикальной трещины, расположенной в головке рельса, зарегистрированное автоматизированной системой ультразвуковой диагностики. Отчетливо видна нижняя граница дефекта, определение которой является актуальной задачей в дефектоскопии рельсов.

Приведены типы выявляемых дефектов согласно НДТ/ЦП-1-93 в различных частях рельса и методология ультразвукового контроля, обеспечивающего их выявление.



4.9. ОПЫТ СТАНДАРТИЗАЦИИ НОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ И МЕТОДОВ НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ ЧЕРЕЗ МЕЖДУНАРОДНЫЙ ИНСТИТУТ СВАРКИ

Дубов А.А., ООО «Энергодиагностика», Москва, Россия

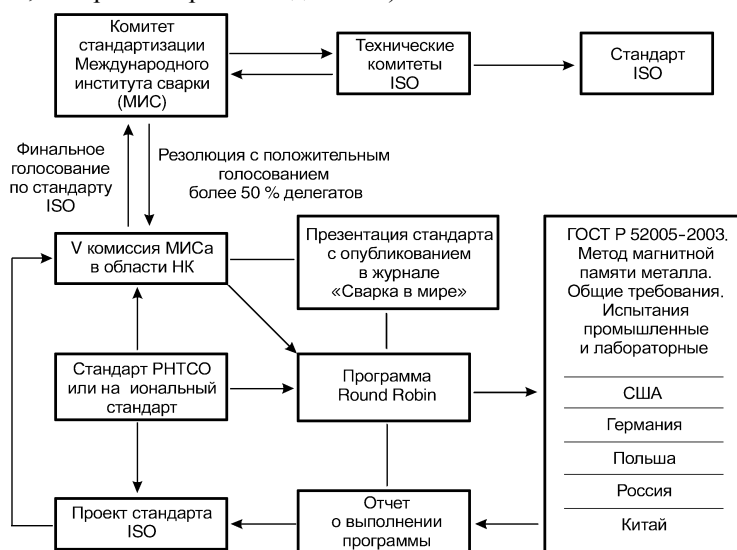
Известна типовая схема продвижения национальных стандартов в области неразрушающего контроля (НК) на уровень европейских (EN) и международных (ISO) путем выполнения необходимых процедур рассмотрения в соответствующих комитетах EN и ISO по представлению Ростехрегулирования.

На основе 14-летнего опыта работы автора (с 2003 г. в Российском научно-техническом сварочном обществе (РНТСО) возглавляет работу комиссии по контролю качества сварки, являясь ее председателем) в Международном институте сварки (МИС) рассмотрена возможность этой организации в области стандартизации новых технологий в области НК.

На рисунке представлена структурная схема, характеризующая процедуру прохождения национальных стандартов ГОСТ Р 52005–2003, ГОСТ Р 52081–2003 и стандарта СТ РНТСО 004-03 по методу магнитной памяти металла (МПМ) через V комиссию МИСа (контроль и обеспечение качества сварной продукции). Необходимо было выполнить специальную программу Round Robin («круговое сравнение») с целью проверки эффективности метода МПМ не менее чем в пяти странах мира, в лабораториях и производствах с составлением итогового отчета и его защитой перед авторитетными учеными и специалистами разных стран.

В итоге многолетней кропотливой работы по продвижению новой технологии контроля в качестве международного стандарта ISO в 2005 г. было проведено итоговое голосование делегатов МИС среди восемнадцати стран мира. В июле 2005 г. на очередном конгрессе МИС в Праге была принята резолюция МИС: «Рекомендовать техническому комитету ISO TK-135 рассмотреть национальный стандарт России по методу магнитной памяти металла в качестве международного».

В январе 2006 г. на очередном заседании комитета ISO TK-135 было принято положительное решение с небольшими редакторскими правками, поступившими из ряда стран. В ноябре 2007 г. осуществлена официальная публикация стандарта ISO 24497–2007 по методу магнитной памяти металла, состоящего из трех частей (термины и определения; общие требования; контроль сварных соединений).



Процедура прохождения национального стандарта через МИС

КРУГЛЫЙ СТОЛ. ПРОБЛЕМЫ ВИБРОДИАГНОСТИКИ

К.1. ПРОГРАММИРУЕМЫЕ ВИБРОВЫКЛЮЧАТЕЛИ: НОВЫЙ КЛАСС ПРИБОРОВ ДЛЯ ЗАЩИТЫ ЭНЕРГОМЕХАНИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Зусман Г.В., ПСБ «Пьезотроник», Денев, США

Вибрационные выключатели, или вибровыключатели, – это приборы, чувствительные к уровню вибрации и отключающие оборудование, на котором они установлены, при превышении установленного уровня.

Существует две категории вибровыключателей: механические и электронные.

Механические вибровыключатели отличаются дешевизной и простотой. Такие вибровыключатели срабатывают без задержки от скачка виброускорения, что, как правило, происходит в момент начавшегося разрушения оборудования.

Электронные вибровыключатели срабатывают с задержкой от повышенного среднего квадратического значения виброскорости. Это обеспечивает защиту и отключение оборудования задолго до разрушения.

В настоящем докладе описан новый класс электронных вибровыключателей: 2-проводные программируемые вибровыключатели. Такие вибровыключатели получают все большее распространение и занимают промежуточное положение между механическими и классическими электронными вибровыключателями.

Вибровыключатель построен по двухпроводной схеме, где выводы используются как для питания электроники по петле, так и представляют собой силовоточные контакты ($0,5\text{А} \times 24...220\text{ В}$ переменного или постоянного тока) для защиты оборудования. Эти же контакты используются для программирования вибровыключателя через USB-порт с помощью специального программатора. Программирование позволяет менять внутренние установки вибровыключателя, такие как порог срабатывания, время задержки и т.д., соответственно условиям применения. Такая возможность делает описываемые вибровыключатели универсальными и пригодными для защиты различного оборудования и по разнообразным схемам включения.

В докладе описана структурная схема, приведены технические характеристики и примеры применения.

К.2. ВИХРЕТОКОВЫЕ ВИБРОИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ДАТЧИКОВЫЕ СИСТЕМЫ С ФУНКЦИЕЙ АВТОМАТИЧЕСКОЙ КАЛИБРОВКИ

Кирпичев А.А., Ключев А.В., Грошков Е.П., ООО «ГлобалТест», Саров,
Нижегородская область, Россия, Шкатов П.Н., МГУПИ, Москва, Россия

В докладе представлен материал по автоматической калибровке виброизмерительных вихретоковых датчиков.

Вихретоковый датчик представляет собой систему из вихретокового пробника, удлинительного кабеля и драйвера, чтобы подчеркнуть данное обстоятельство датчик часто называют вихретоковой датчиковой системой (ВДС).

Основная область промышленного использования ВДС – контроль осевого смещения и поперечного биения валов турбин, энергетических агрегатов, компрессоров, электромоторов, в которых используются подшипники скольжения.

Преимущества вихретокового метода заключаются в бесконтактности, нечувствительности к изменению влажности, давления, наличию слоев грязи и неэлектропроводящих покрытий, а также в простоте автоматизации.

Воздействие температуры окружающей среды на компоненты ВДС (пробник, удлинительный кабель, драйвер) приводит к дополнительной погрешности измерения. Компенсация влияния температуры – задача весьма непростая, поскольку пробник, удлинительный кабель и драйвер, как правило, эксплуатируются в разных температурных режимах. Воздействие температуры на параметрический вихретоковый пробник приводит к изменению активного сопротивления катушки индуктивности. Это воспринимается драйвером как изменение зазора между торцом пробника и поверхностью контролируемого объекта. Замена параметрического вихретокового пробника на нечувствительный к вариации температуры трансформаторный нежелательна, так как приводит к снижению чувствительности к контролируемому параметру.

Для решения проблемы воздействия температуры окружающей среды на пробник был разработан специальный импульсный способ возбуждения вихретокового пробника [1]. Благодаря примененному способу возбуждения драйвер всегда «знает» температуру окружающей среды пробника и автоматически изменяет коэффициент усиления в ту или иную сторону для компенсации температурной погрешности.

Импульсный метод возбуждения колебаний хорошо согласуется с применением цифровых элементов в схемотехнике драйвера, что в свою очередь снижает погрешность от воздействия температуры.

На предприятии-изготовителе для каждой комбинации «диаметр катушки + длина соединительного кабеля» калибруется свой драйвер, после чего на его корпус наносится соответствующая маркировка. Таким образом, при выходе из строя какого-либо компонента ВДС замена должна быть идентичной. В противном случае требуется повторная калибровка драйвера на предприятии-изготовителе. Вместе с тем даже при идентичной замене неизбежна дополнительная погрешность, которая часто оговаривается в характеристиках драйвера, это так называемая погрешность при замене компонентов. Опыт эксплуатации ВДС показывает, очень часто пробник эксплуатируется в зоне высокого давления. В этом случае в разрыв соединительного кабеля между пробником и драйвером помещается герметичный переходник для изоляции драйвера от зоны высокого давления. Применение переходника вносит существенную дополнительную погрешность.

Для исключения влияния марки материала, а также погрешности от замены компонентов ВДС и погрешности, вносимой дополнительными переходниками в соединительном кабеле, был разработан драйвер с новыми интеллектуальными возможностями, а именно с функцией автоматической калибровки.

Суть автоматической калибровки заключается в следующем. Определенными действиями драйвер вводится в режим автоматической калибровки. Затем необходимо «прогнать» в микрометрической установке с образцовым материалом весь диапазон измерения датчика с шагом 100 мкм, фиксируя каждый зазор нажатием кнопки. После прохождения всего диапазона в драйвере формируется практически идеальная передаточная функция. Процесс калибровки занимает около 2 мин. Таким образом, можно оперативно откалибровать датчик по месту установки при замене компонентов ВДС, а также исключить погрешность от дополнительных переходников между зонами высокого и низкого давления.

Введение функции автоматической калибровки существенно повышает конкурентоспособность ВДС. Анализ рынка показывает, что ни одна из ведущих фирм-производителей ВДС на сегодняшний день не выпускает датчики с такими сервисными возможностями.

Американским институтом нефти разработан стандарт API 670, в котором прописаны требования к техническим характеристикам различных датчиков, применяемых для диагностики состояния промышленного оборудования. В том числе приводится минимально необходимый набор требований для вихретоковых датчиков зазора. На сегодняшний день действует уже четвертая редакция стандарта.

Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии не конкретизирует требования к техническим характеристикам (диапазон измерения, чувствительность, нелинейность, шум и др.) вихретоковых датчиков. Существуют только рекомендации по метрологическому обеспечению и методам поверки. Поэтому вихретоковые датчики от различных отечественных производителей зачастую существенно отличаются друг от друга техническими параметрами. Если предприятие поставляет датчик в составе измерительного оборудования, данное обстоятельство не имеет решающего значения, поскольку пользователь получает конечный продукт «под ключ». Если же конечным продуктом является собственно вихретоковый датчик, его технические характеристики должны быть стандартизованы. Данное обстоятельство позволяет потребителю использовать стандартные мониторинговые системы и при необходимости с минимальными затратами заменить датчики одного производителя на датчики другого, который предложит более выгодные условия поставки.

Технические характеристики предлагаемой системы удовлетворяют требованиям стандарта API 670.

Литература

1. Пат. 2185617 Российская Федерация. Способ вихретокового контроля и устройство для его осуществления / Ключев А.В.; заявл. 07.02.2000.

К.З. ОБНАРУЖЕНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ПОВРЕЖДЕНИЙ ПОДШИПНИКОВ КАЧЕНИЯ ГАЗОТУРБИННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ И ИХ ЛОКАЛИЗАЦИЯ ПО ВЫСОКОЧАСТОТНЫМ ВИБРОСИГНАЛАМ

Соколова А.Г., Институт машиноведения РАН, Москва, Россия

В докладе содержится информация о методах раннего обнаружения эксплуатационных повреждений газотурбинных двигателей (ГТД) газоперекачивающих агрегатов (ГПА) по вибрационным характеристикам и результатах их применения при диагностике подшипников качения с использованием данных вибрации в точках корпуса на выходе штатной системы диагностирования компрессорного оборудования (СДКО).

При диагностировании подшипников качения газотурбинной установки (ГТУ) возникает проблема выделения слабого сигнала на фоне сильных помех в зоне оборотных и лопаточных частот, обусловленных рабочим процессом в двигателе. Стандартные алгоритмы диагностирования подшипников по спектрам вибрации или амплитудной огибающей высокочастотного вибросигнала при существующих ныне технических характеристиках СДКО нереализуемы на практике, равно как и способ повышения чувствительности вибросигнала за счет установки датчика на обойме подшипника. Поэтому приходится искать обходные пути, обращаясь к нестандартным алгоритмам обнаружения дефектов и локализации поврежденного узла, например к дискриминантному анализу вибраций [1] в зоне подшипниковых частот и извлечению полезной информации из вибросигнала ГТУ на лопаточных частотах компрессора [2]. Ниже приведен пример обнаружения поврежденного подшипника передней опоры (ПО) компрессора низкого давления (КНД) при износе внутреннего кольца. Конструктивная схема ГТД ДГ-90Л2, представленная на рис. 1, дает представление о ее компонентах и степени сложности машины для решения задач виброакустической диагностики подшипниковых узлов.

На рис. 2 представлен график дискриминанта I_d при пороге клиппирования $P = 2\sigma$ виброускорения в полосе частот 1,0...1,75 кГц проявления дефекта типа локального износа

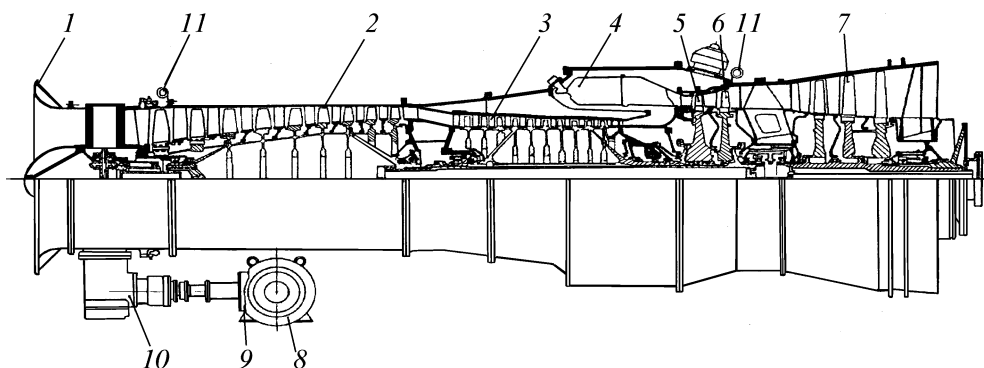


Рис. 1. Кинематическая блок-схема двигателя ДГ-90:

1 – устройство входное; 2 – компрессор низкого давления (КНД); 3 – компрессор высокого давления (КВД); 4 – камера сгорания; 5 – турбина высокого давления (ТВД); 6 – турбина низкого давления (ТНД); 7 – турбина нагнетателя (ТН); 8 – электростартер; 9 – коробка приводов нижняя; 10 – коробка приводов выносная; 11 – вибропреобразователь (на корпусе КНД)

дорожки качения внутреннего кольца шарикового подшипника передней опоры КВД при измерении вибрации на корпусе компрессора. Начало деградиационного процесса в подшипнике обнаруживается за 3 недели до появления стружки в масле.

Стоит отметить, что конструктивные особенности двигателя ДГ-90 таковы, что дефект внутреннего кольца ПО КНД и дефект наружного кольца задней опоры (ЗО) проявляются на одних и тех же относительных частотах в диапазоне $\approx (12,8 \dots 13,1) F_{\text{р-кнд}}$. Если при обычном спектральном анализе вибраций корпуса ГТД трудно определить, какой из подшипников выходит из строя, индикатором может служить тренд отношения $W(t) = U(7 - 9)/U(1 - 3)$ виброактивности двигателя в зоне первых (1 – 3) и последних (7 – 9) лопаточных ступеней компрессора. На рис.3 представлены тренды зависимостей $W(t)$ от времени наработки двигателей двух агрегатов КС ООО «Ямбурггаздобыча»: ГПА-122 – при деградации подшипника ПО и ГПА-626 – при деградации подшипника ЗО.

Рис. 3 иллюстрирует наличие статистической связи между вибрацией на лопаточных частотах ступеней компрессора и техническим состоянием подшипниковых узлов: угол наклона кривой аппроксимации параметра $W(t)$ указывает на местоположение дефектного подшипника на валу компрессора. Таким образом, использование нестандартных методов обработки высокочастотных сигналов корпуса ГТУ способствует раннему обнаружению эксплуатационных повреждений и локализации дефектного узла.

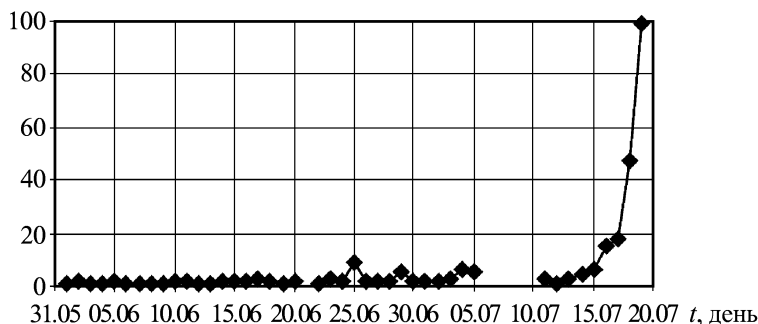


Рис. 2. Тренд дискриминанта $I_d (P = 2\sigma n)$ виброускорения в полосе частот 1,0...1,75 кГц при измерении в точке корпуса КНД-верт двигателя ДГ-90 при деградации подшипника ПО КНД

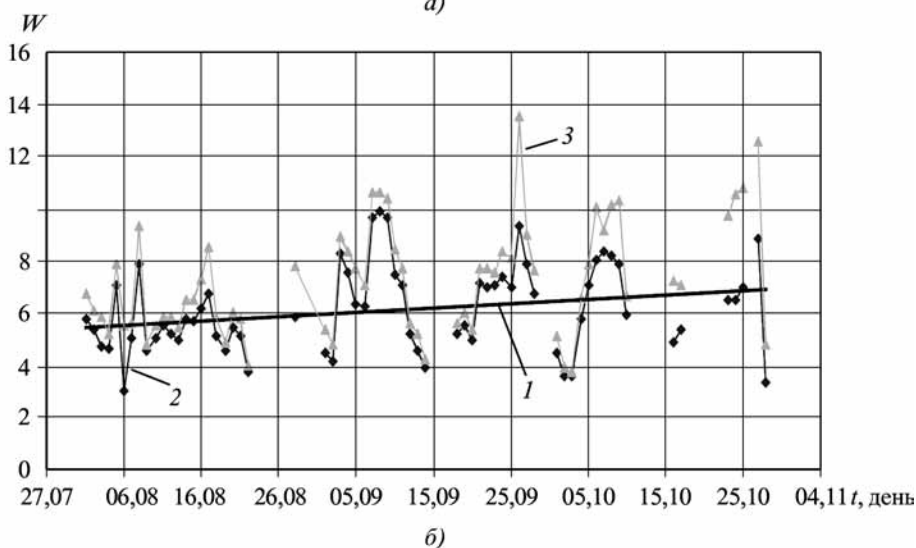
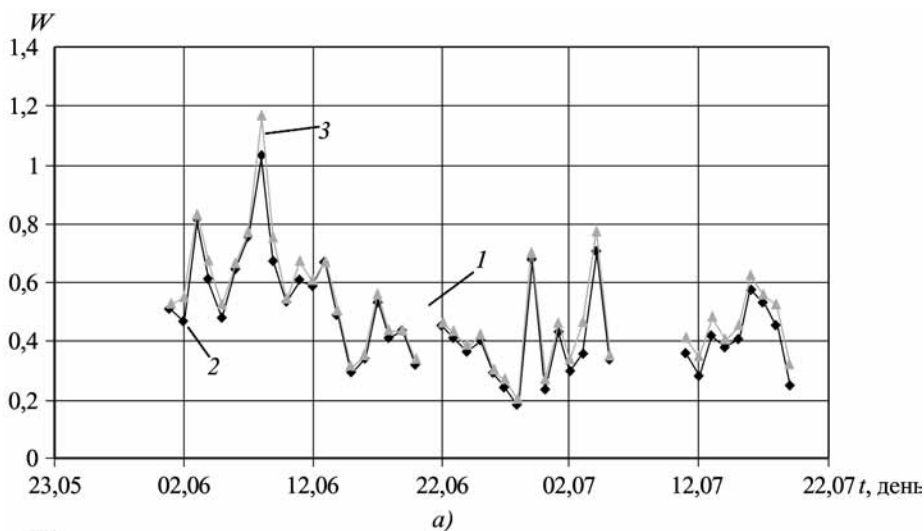


Рис. 3. Графики зависимостей параметров $W_{(1-2)}^{(1-7)} = U(7-9)/U(1-2)$

и $W_{(1-3)}^{(7-9)} = U(7-9)/U(1-3)$ от времени наработки двигателя:

a – ГПА-122; $б$ – ГПА-626

Литература

1. **Соколова А.Г.** Алгоритм вибромониторинга машинного оборудования с адаптацией к базовому состоянию // Контроль. Диагностика. 2005. № 11. С. 30–40.
2. **Соколова А.Г., Балицкий Ф.Я., Минкин И.В., Брусиловский Ю.В.** Взаимовлияние состояния подшипниковых опор и уровней лопаточных частот ступеней КНД ГТУ ДГ-90 // Мат-лы XXV тематического семинара «Диагностика оборудования и трубопроводов компрессорных станций». Небуг, 18–23 сентября 2006 г.: в 2 т. Т.1. М.: ООО «ИРЦ Газпром», 2007. С. 180–192.

К.4. АНАЛИЗ НЕЛИНЕЙНЫХ СВОЙСТВ ВИБРАЦИИ КАК СРЕДСТВО ПОЛУЧЕНИЯ ХАРАКТЕРНЫХ ДИАГНОСТИЧЕСКИХ ПРИЗНАКОВ РАЗВИТЫХ ДЕФЕКТОВ МАШИН

Балицкий Ф.Я., *Институт машиноведения РАН, Москва, Россия*

В докладе представлены результаты исследований информационных свойств вибросигналов работающих машин с развитыми дефектами. Известно, что нормально работающие узлы многих машин роторного или циклического типа действия вполне адекватно описываются линейными (квазилинейными) колебательными моделями. Их основное свойство – аддитивность, определяющее адекватность изменений отклика модели на изменения возбуждения, действующего на ее входе. Однако возникновение и, в еще большей степени, последующее развитие дефекта резко меняет свойства соответствующего виброакустического сигнала на нелинейные. Это приводит к тому, что наиболее широко используемое при диагностическом анализе преобразование Фурье перестает точно отражать характерные свойства виброакустического сигнала. В спектре сигнала появляются составляющие, происхождение которых невозможно объяснить из кинематических соображений и частота которых является комбинацией разных частот возбуждения (определяемых кинематической схемой, скоростным режимом работы машины, частотами мелькания дефектов). Подчас в эти нелинейные взаимодействия вовлекаются и собственные частоты дефектных узлов, порождая (в комбинации с частотами возбуждения и их гармониками) спектральные составляющие, неотличимые от действительно резонансных участков исследуемого частотного диапазона, как показано в докладе. При анализе вибрационного сигнала машины с возможно развивающимися дефектами это обстоятельство обязательно надо учитывать для выработки правильного заключения о причинах повышенной виброактивности машины и принятия правильного решения о последующем техническом обслуживании, поскольку, естественно, ремонтные работы будут существенно различными в зависимости от вида этого заключения.

Другой тесно связанный с преобразованием Фурье и также широко применяемый в вибродиагностике (при использовании корпусных датчиков) вид анализа – это анализ огибающих узкополосных, а иногда и широкополосных компонентов вибросигнала. Это находится в тесной связи с проявлением нелинейных взаимодействий, о которых было сказано выше. Ведь с математической точки зрения появление в сигнале вибрации модуляции амплитуды или фазы соответствует перемножению частотных составляющих (добавим, разного происхождения), а это уже операция нелинейная. Применяя метод демодуляции, можно детально исследовать во временной или частотной областях как раз те детали сигнала, в которых и заключена основная информация о деградации технического состояния. Однако и в данном случае надо иметь в виду, что нелинейность колебательной модели приводит к соответствующим следствиям:

- всякую нелинейную систему трудно (или просто невозможно) описать математически для последующего анализа;
- даже незначительные изменения параметров приводят к капитальным изменениям картины колебаний;
- как следует из предыдущего, трудно объяснить происходящие в вибросигнале изменения и, кроме того, не приходится ожидать достаточно хорошей повторяемости результатов.

По этим причинам, например, известный специалист в области мониторинга и диагностики роторных машин Д. Бентли резко настроен против применения такого метода. Тем не менее метод нашел широкое применение (с учетом приведенных ограничений) в вибродиагностике на основе преобразования Гильберта, значительно упрощающего процедуру получения огибающих.

В успешном применении метода демодуляции, надо признать, есть еще одно ограничение: признаки, получаемые из анализа огибающей, не являются монотонно зависящими от степени развития дефекта. Предложенный метод каскадной демодуляции свободен от этого недостатка и, как показано в докладе на примере редуктора и электро-циркуляционного насоса, позволяет значительно расширить диапазон полезного применения анализа огибающих узкополосных составляющих вибрации при диагностике развитых дефектов работающих машин.

СТЕНДОВЫЕ ДОКЛАДЫ

С.1. ДИАГНОСТИКА ПОВРЕЖДЕНИЙ ВЕРТИКАЛЬНОЙ ШТАНГИ

Ильгамов М.А., *Институт механики УНЦ РАН, Уфа, Россия*

Рассматривается напряженно-деформированное состояние прямой штанги, закрепленной верхним концом неподвижно и растянутой под действием собственного веса и силы, приложенной к нижнему концу. Предполагается, что в штанге имеется короткий участок (по сравнению с общей ее длиной) с меньшей площадью поперечного сечения. Этот надрез не приводит к изгибу штанги и моделирует ее повреждение, в частности повреждение типа раскрытой трещины. Задача состоит в определении координаты надреза и его размеров в приближении гипотезы плоских сечений. В пределах надреза с короткой длиной l и вблизи него имеется сложное пространственное напряженно-деформированное состояние [1]. Однако здесь для простоты принимаем одноосное растяжение – сжатие, а также не учитываем инерционные силы. Как показывают экспериментальные результаты [2], средняя величина коэффициента затухания продольных колебаний подвешенной штанги с надрезом при ударе по нижнему торцу на 20 % больше, чем этот коэффициент для такой же штанги без надреза.

По значениям перемещений, деформаций и усилий, измеренных в верхней зоне, нельзя определить его наличие или отсутствие. Так, никакие статические измерения у устья нефтяной скважины не позволяют судить о состоянии штанговой колонны. Нередкие обрывы штанги добывающей скважины длиной 500...2000 м в результате постепенного развития трещины свидетельствуют об этом [2, 4]. Приходим к физически очевидному результату, что верхняя зона «не чувствует» никакие повреждения в нижней части. Как видно из уравнений, в случае технических систем, где имеется доступ к нижней зоне штанги, можно судить о наличии надреза. При пользовании формулами, полученными из решения статической задачи, важно определять значения перемещений по показаниям приборов с наибольшей точностью, так как в эти формулы входят разности близких чисел. Это обстоятельство приводит к потере точности в вычислениях и большим погрешностям в определении параметра надреза и координаты его расположения от места замеров перемещений. Применение статического способа определения повреждений в штанге затруднено именно по этой причине.

Так же как в предыдущем разделе, в динамической задаче можно составить два уравнения для определения параметра m надреза и его координаты x_c с использованием измерений разности амплитуд перемещений нижнего конца штанги с надрезом и без него, а также добавляя амплитуду приложенной внешней силы. Можно исходить из измерений виброускорений и деформаций. В отличие от статического случая измерения и в верхней части штанги позволяют судить о параметрах надреза. Разные вопросы локальной приборной диагностики рассматриваются в работах [3, 4]. Другой способ определения m и x_c состоит в анализе собственных частот продольных колебаний штанги с надрезом. Такое исследование выполнено для изгибных колебаний балки в работе [5]. По известным из показаний приборов собственным частотам $\tilde{\omega}_1$ и $\tilde{\omega}_2$ можно определить параметр m и координату x_c надреза. В этом случае имеем

$$\tilde{\omega}_1 \frac{2l}{\pi a} = 1 - \frac{m}{1 + m(1 + \pi^2 x_c / 4l)}, \quad \tilde{\omega}_2 \frac{2l}{3\pi a} = 1 - \frac{m}{1 + m(1 + 9\pi^2 x_c / 4l)}.$$

Вводя в эти уравнения обозначения собственных частот для штанги без надреза ω_1 и ω_2 , а также отношения измеренных собственных частот колебаний штанги с надрезом к частотам ω_1, ω_2

$$f_1 = \tilde{\omega}_1 / \omega_1, \quad f_2 = \tilde{\omega}_2 / \omega_2,$$

находим

$$m = \frac{8(1-f_1)(1-f_2)}{9f_1(1-f_2) - f_2(1-f_1)}, \quad \frac{x_c}{l} = \frac{f_2 - f_1}{2\pi^2(1-f_1)(1-f_2)}.$$

Поскольку собственные частоты штанг с дефектом всегда меньше собственных частот штанг без дефекта $f_1 < 1, f_2 < 1$ то значения m и x_c положительны. Отметим, с увеличением номера моды колебаний частота для штанги с надрезом все меньше отличается от частот для целой штанги ($f_k \rightarrow 1$). Если, например, $f_1 = 0,92, f_2 = 0,94$, то по формулам находим $m = 0,091, x_c/l = 0,21$.

Литература

1. **Партон В.З., Морозов Е.М.** Механика упругопластического разрушения. М.: Наука, 1974. 450 с.
2. **Разянцев А.О.** Виброакустическая диагностика глубиннонасосных штанг в процессе эксплуатации: дис. ... канд. техн. наук. Уфа: УГНТУ, 1999. 108 с.
3. **Балицкий Ф.Я., Иванова Н.А., Соколова А.Г., Хомяков Е.И.** Виброакустическая диагностика зарождающихся дефектов. М.: Наука, 1984. 120 с.
4. **Окрушко Е.И., Ураксеев М.А.** Дефектоскопия глубиннонасосных штанг. М.: Недра, 1983. 112 с.
5. **Ваньков Ю.В., Казаков Р.Б., Яковлева Э.Р.** Собственные частоты изделия как информативный признак наличия дефектов // Электронный журнал «Техническая акустика». 2005. № 5. С. 7.

С.2. ВЫБОР ОСНОВНЫХ ПАРАМЕТРОВ НИЗКОЧАСТОТНОГО ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПОЛЯ ДЛЯ КОНТРОЛЯ ТОЛСТОСТЕННЫХ ФЕРРОМАГНИТНЫХ ОБЪЕКТОВ ОТВЕТСТВЕННОГО НАЗНАЧЕНИЯ (РЕЗЕРВУАРОВ, ТРУБОПРОВОДОВ, ТРУБ)

Махов В.М., Федосенко Ю.К., ЗАО «НИИИИ МНПО «Спектр», Москва, Россия

Чаще всего для контроля толстостенных ферромагнитных объектов с толщиной стенки 15...30 мм используют постоянное магнитное поле, хотя в последние три–пять лет почти такой же результат получают с помощью переменных полей. Исследования показали, что на частотах примерно 150...400 Гц удастся измерить толщину листов при $t = 23...30$ мм [1]. В данной работе проводятся дальнейшие исследования по выбору основных параметров низкочастотного электромагнитного поля для контроля толщины ферромагнитных листов. К числу основных исследуемых параметров можно отнести: конструкцию источника первичного поля, его частоту и величину напряженности магнитного поля, амплитудно-фазовые соотношения измеряемого сигнала. В качестве источника поля применялся П-образный электромагнит, у которого геометрический фактор ослабления поля по ортогональному к полюсу направлению значительно меньше, чем у накладной катушки индуктивности [1]. Для создания генератора переменного тока использовался цифровой синтезатор частоты, аналоговый частотный фильтр, усилитель мощности, питающий обмотки П-образного электромагнита. Выходная мощность 7,5 В·А. В качестве измерительных использовались амплитудный и фазовый каналы. В измерительных каналах вводилась компенсация сигнала, соответствующего эталонному объекту. Степень компенсации 10^{-3} . Для компенсации использовался ЦАП, формирование компенсационного сигнала на котором производилось программно. С помощью стенда построены кривые зависимости выходного сигнала от толщины листа t : $U = f(t)$. Кривые являются нелинейными, для линеаризации которых эффективнее всего применить кусочно-линейную аппроксимацию. Кривые фазового канала $\varphi = \psi(t)$ также нелинейны, но степень отклонения от линейности значительно меньше, чем у функции $U = f(t)$. Эксперимент показал, что с параметрами поля разработанного стенда удастся выявлять 10%-ные изменения толщины при стенке 15 мм с площадью неоднородности 20 мм².

Литература

1. **Махов В.М., Федосенко Ю.К.** Исследование метода контроля толстостенных ферромагнитных объектов с использованием низкочастотного электромагнитного поля // Тезисы докладов 6-й Междунар. vyst. и конф. «Неразрушающий контроль и техническая диагностика». С. 28. М., 2007. С. 112.

С.3. ИССЛЕДОВАНИЕ И ОПТИМИЗАЦИЯ ХАРАКТЕРИСТИК НАПРАВЛЕННОСТИ ЛИНЕЙНОЙ ЭКВИДИСТАНТНОЙ АНТЕННОЙ РЕШЕТКИ

Дурейко А.В., ООО «Акустические Контрольные Системы», Москва, Россия

В приборе АКР1224, обеспечивающем контроль рельсов волноводным методом, используется линейная эквидистантная антенная решетка (АР) из 12 элементов. В рабочем направлении согласованная работа отдельных элементов решетки обеспечивается за счет их согласованной фазировки. Однако в обратном направлении для данной решетки формируется паразитный лепесток диаграммы направленности, что может создавать ложные помехи при контроле.

В докладе рассматривается способ подавления паразитного лепестка за счет оптимального выбора рабочих частот, определенным образом подобранных по длине волны, что в сочетании с шагом элементов АР обеспечивает минимизацию помех. На основании теоретических расчетов и экспериментальных измерений длины волны УЗ-колебаний в различных частях рельса предложен скорректированный ряд рабочих частот для прибора АКР1224.

В ближайшее время планируется провести практическую апробацию предложенных решений и внедрить их при получении положительных результатов.

С.4. ЭРГОНОМИКА В МАГНИТОПОРОШКОВОМ КОНТРОЛЕ

Тарасенков Г.А., ЗАО «МНПО «Спектр», Москва, Россия

Особенностью магнитопорошкового метода является то, что все технологические операции, включая выявление дефекта и его типа, выполняются человеком-оператором. В связи с этим метод является субъективным, поэтому достоверность контроля зависит от многих эргономических факторов, непосредственно влияющих на человека. Изучение этих факторов в системе человек–машина (СЧМ, ГОСТ 22973–78) в настоящее время стало актуальной проблемой, в том числе в неразрушающем контроле методами дефектоскопии, так как значительно возросла стоимость («цена») ошибки человека при управлении производственными процессами. Например, пропуск дефекта на лопатке компрессора или турбины авиационного двигателя самолета и последующего обрыва дефектной лопатки в полете приводит к аварии или катастрофе.

Общие рекомендации по значению этих факторов приведены в ГОСТах, стандартах, методиках и других регламентирующих документах.

Однако исследований влияния их конкретных значений на достоверность магнитопорошкового контроля в литературных источниках не приводится.

Автор обобщил эргономические и технические факторы в связи с проведением магнитопорошкового контроля.

К таким факторам относятся: *гигиенические*: освещенность, температура и скорость движения воздуха на рабочем месте, напряженность магнитного поля, шум, запыленность; *физиологические и психофизиологические*: силовые возможности человека, скоростные возможности человека, зрительные возможности человека; *психологические*: подготовленность специалистов, обученность, соответствие закрепленным и вновь формируемым навыкам; *технические факторы, влияющие на эффективность контроля*: магнитные характеристики материала объектов контроля, их форма, размеры; шероховатость поверхности объектов контроля; наличия и уровня поверхностного упрочнения; толщина немагнитного покрытия; местоположение и ориентация дефектов; напряженность магнитного поля и его распределение по детали; угол между направлением намагничивающего поля и плоскостью дефектов; свойства магнитного индикатора, способа его нанесения на проверяемые детали; условий регистрации индикаторного рисунка выявляемых дефектов; подготовленности специалистов; оборудование рабочего места.

Исследования показали, что проблема определения эргономических показателей имеет существенное значение при проведении магнитопорошкового контроля в экстремальных условиях (при высоких и низких температурах, низкой и высокой освещенности, в полевых условиях, контроле в конструкции, на высоте строительных сооружений, в водной среде и т.п.).

С.5. СЖАТИЕ СЛОЖНЫХ ЭХОСИГНАЛОВ СО СВЕРХРАЗРЕШЕНИЕМ МЕТОДОМ МАКСИМАЛЬНОЙ ЭНТРОПИИ

Базулин А.Е., Базулин Е.Г., ООО «НПЦ «ЭХО+», Москва, Россия

Рассматривается задача деконволюции (обращения свертки с функцией точечного источника) эхосигналов с применением регуляризации методом максимальной энтропии (ММЭ) и дальнейшим восстановлением двумерных изображений методом проекции в спектральном пространстве (ПСП, FT-SAFT). Прямая задача свертки решается для комплексного сигнала (полученного из действительного путем преобразования Гильберта).

Формулу прямой задачи можно записать в матричном виде

$$s = Gf + n ,$$

где $s \in C_N$ – комплексный вектор, содержащий измеренный эхосигнал; G – циклическая комплексная матрица $(N \times N)$, столбцы которой сформированы эталонным эхосигналом $s_e(t)$ со сдвигом во времени, определенным номером столбца, а $f \in C_N$ – неискаженная комплексная функция, которую требуется восстановить. Здесь произведение Gf , соответствующее вычислению свертки, при вычислениях заменяется сверткой в Фурье пространстве.

Устойчивое решение задачи обращения свертки может быть получено при использовании процедуры регуляризации. К критерию невязки решения добавляется стабилизирующий функционал с параметром регуляризации α (множителем Лагранжа). Применение в качестве стабилизирующего функционала энтропии Шеннона, взятой со знаком «–», т.е. получение оценки изображения с максимально возможной при имеющихся данных энтропией, составляет суть метода максимальной энтропии:

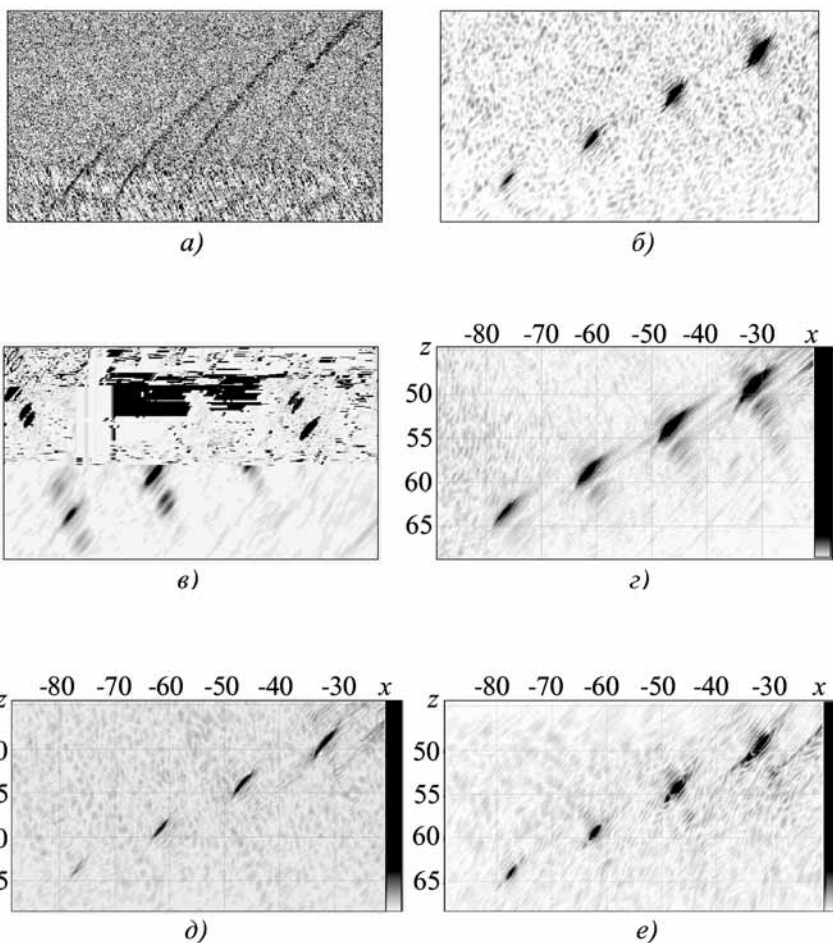
$$j(f) = \|Gf - s\|^2 - \alpha H(f) \rightarrow \min_f .$$

После решения задачи обращения свертки для каждого эхосигнала для восстановления изображения применяется метод ПСП.

Проведено численное и экспериментальное моделирование решения задачи деконволюции. Продемонстрирована возможность повышения лучевого разрешения эхосигналов и понижения уровня спеклового шума при использовании сложных сигналов (псевдослучайных последовательностей) для получения исходных эхосигналов.

Для получения простого сигнала на вход генератора системы «АВГУР 4.2» подавался двуполярный импульс длиной 200 нс, а для получения сложного сигнала преобразователь возбуждался последовательностью из 32 импульсов, фазоманипулированных по М-последовательности. Эксперимент проводился на отверстиях с глубинами 50...65 мм в образце СО-1. Высокое затухание ультразвука на частоте 5 МГц в плексигласе привело к тому, что без выполнения когерентной обработки отношение сигнал/шум в эхосигналах от самого глубокого отверстия составляло около 0 дБ.

Проведено сравнение результатов восстановления с применением методов: инверсной, согласованной, Винеровской фильтрации, повышения разрешающей способности при построении AR-модели спектра эхосигналов, метода максимальной энтропии и метода эталонной голограммы.



На рисунке показаны результаты восстановления методом ПСП изображений отверстий в образце СО-1 (вид В: $y = 61,65$):

a – визуализация (выделение огибающей) по простым эхосигналам;

б – метод ПСП, простые эхосигналы;

в – метод ПСП, сложные эхосигналы, сжатые согласованной фильтрацией;

г – метод ПСП, сложные эхосигналы, сжатые ММЭ;

д – метод ПСП, сложные эхосигналы после инверсной фильтрации и сжатия с применением экстраполяции спектра по AR-модели;

е – метод эталонной голограммы с применением Винеровской фильтрации.

Таким образом, продемонстрирована возможность сжатия сложных сигналов ММЭ, обеспечивающее высокое отношение сигнал/шума и высокую продольную разрешающую способность в изображении.

С.6. ПОЛУЧЕНИЕ ВЫСОКОКАЧЕСТВЕННЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ МЕТОДОМ ДВОЙНОГО СКАНИРОВАНИЯ ПРИ ЭЛЕКТРОННОМ СКАНИРОВАНИИ АНТЕННОЙ РЕШЕТКОЙ

Базулин Е.Г., Голубев А.С., Коколев С.А., ООО «НПЦ «ЭХО+», Москва, Россия

В статье исследована возможность получения высококачественного изображения дефектов методом двойного сканирования. В этом режиме регистрации эхосигналов излучатель и приемник движутся независимо друг от друга по прямым параллельным линиям. Применение такого режима, эквивалентного многократно повторенным измерениям по раздельной схеме, и последующая обработка полученных данных методом SAFT или ПСП дает возможность получить высококачественное изображение дефекта, которое характеризуется:

- уменьшением амплитуды «паразитных» бликов, сформированных трансформированными и перерассеянными импульсами, так как не происходит их когерентного накопления;
- высоким отношением сигнал/шум в материалах с сильным структурным шумом;
- минимальными размерами функции рассеяния точки.

Существенным недостатком метода двойного сканирования, затрудняющим его практическое применение, является значительный объем зарегистрированных данных и большое время измерений при использовании системы механического сканирования. Для повышения скорости сканирования использовались фазированные антенные решетки. Применение электронного сканирования вместо механического значительно уменьшает время измерений, при этом достигается фокусировка во всей области получения изображения в отличие от работы фазированной антенной решетки в ее штатном режиме. Недостаток такого метода – меньшая по сравнению со случаем механического сканирования апертура излучения и приема, которая ограничена размерами решетки.

Проведены численные эксперименты, подтверждающие возможность применения метода двойного сканирования для получения высококачественного изображения дефектов.

Получены эхосигналы от различных дефектов. Регистрация сигналов проводилась в режиме двойного сканирования с помощью ФАР-дефектоскопа «Harfang X-32» с использованием 32-элементной антенной решетки, работающей на частоте 5 МГц. Восстановление изображений дефектов методами ПСП и SAFT проводилось с помощью когерентного ультразвукового дефектоскопа серии «Авгур», разработанного и изготавливаемого в Научно-производственном центре «ЭХО+».

На рис.1 ниже представлено изображение теста перерассеивания (4 отверстия диаметром 0,5 мм в блоке из дюралюминия на расстоянии 2 мм друг от друга), полученное ФАР-дефектоскопом X-32 при его работе в штатном режиме (а) и в режиме двойного сканирования (б). На изображении рис. 1, а, выполненном в режиме динамической фокусировки, заметен пятый блик, который отсутствует в режиме двойного сканирования. Во втором случае меньше и уровень «паразитных» бликов. Разрешающая способность обоих изображений одинакова.

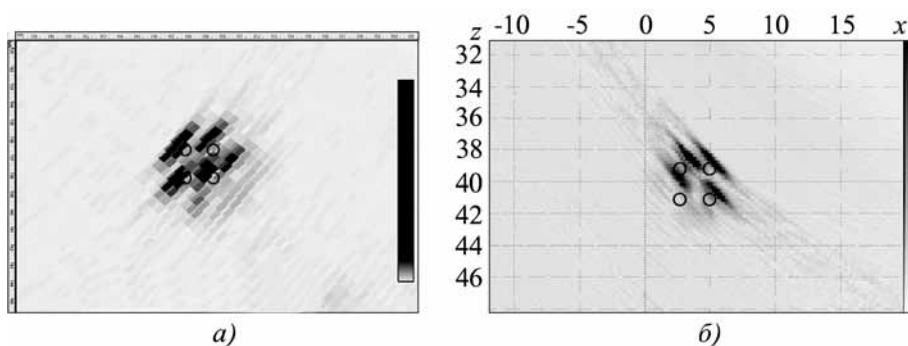


Рис. 1

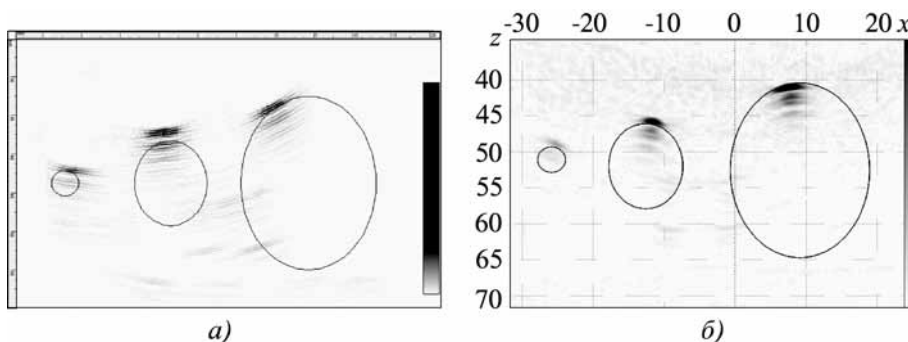


Рис. 2

На рис. 2 представлено изображение трех отверстий диаметром 3, 10 и 20 мм, полученное ФАР-дефектоскопом Х-32 при его работе в штатном режиме (а) и в режиме двойного сканирования (б). Видно, динамическая фокусировка ФАР-дефектоскопа Х-32 дает ошибки в определении координат дефектов – граница отверстия диаметром 10 мм определилась с ошибкой. В режиме двойного сканирования (б) границы отверстий восстановились с более высокой точностью.

Для получения качественного изображения дефектов необходимо знать с высокой точностью (не менее 1 %) скорость распространения ультразвука. Для этого необходимо проведение дополнительных измерений, которые позволят определить скорость звука и толщину объекта контроля. Предложен алгоритм расчета скорости распространения звука по данным, полученным в результате регистрации отраженных от дна объекта контроля эхосигналов антенной решеткой без призмы.

Литература

1. Бадалян В.Г., Базулин Е.Г. Цифровое восстановление изображения рассеивателей методом проекции в спектральном пространстве // Акустический журнал. 1988. Т. XXXIV. № 2. С. 222–231.
2. Базулин Е.Г. О возможности использования в ультразвуковом контроле двойного сканирования для повышения качества изображения рассеивателей // Акустический журнал. 2001. Т. XLVII. № 6. С. 741–745.
3. Бадалян В.Г., Базулин Е.Г. Улучшение качества изображения дефектов при восстановлении акустических голограмм // Дефектоскопия. 1987. № 11. С. 76–80.

С.7. АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ УЛЬТРАЗВУКОВОЙ КОНТРОЛЬ КОМПОЗИТНЫХ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ НА АЭС С ВВЭР-440 И ВВЭР-1000

Самарин П.Ф., Тихонов Д.С., Федотовских В.Г., Кокорин А.Н.,
НПЦ «ЭХО+», Москва, Россия

Для обоснованного продления эксплуатационного ресурса действующих АЭС с реакторными установками ВВЭР-440 и ВВЭР-1000 одной из важнейших задач является обеспечение достоверной диагностики качества сварных соединений. Наиболее сложными в интерпретации результатов ультразвукового контроля являются композитные сварные соединения.

Представлены основные положения методик автоматизированного ультразвукового контроля (АУЗК) композитных сварных соединений (СС): патрубков впрыска и сброса компенсатора давления (КД) реактора ВВЭР-1000, патрубков парогенераторов Ду1100 и патрубков Ду500 корпуса реактора ВВЭР-440. Проведен анализ однотипности этих СС, приведены основные параметры действующих методик АУЗК СС с использованием системы «АВГУР 5.2». При выборе методических параметров рассчитывались нормированные АРД-диаграммы и по ним кривые ВРЧ для используемых ПЭП. Нормировка осуществлялась таким образом, что контрольный уровень чувствительности соответствовал 15 мм^2 , а браковочный уровень устанавливался на 6 дБ выше контрольного. В областях выявленных отражателей проводился АУЗК в измерительном режиме, по результатам которого восстанавливались изображения выявленных отражателей.

В докладе представлены изображения отражателей, выявленных по данным АУЗК композитных сварных соединений переходных колец с патрубками Ду1100, и проведено сопоставление с результатами металлографических исследований при ремонте сварных соединений. Изображения отражателей хорошо согласуются с координатами расположения и размерами дефектов по данным металлографии. Выработаны методические рекомендации по определению размеров дефектов при анализе акустических изображений.

Литература

1. **Battle David J.** Maximum Entropy Regularization Applied to Ultrasonic Image Restoration. University of Sydney, 1999.
2. **Базулин Е.Г.** Получение изображения рассеивателей с продольным сверхразрешением по многочастотным цифровым акустическим голограммам при построении AR-модели спектров эхосигналов // Акустический журнал. 1993. Т. XXXIX. № 2. С. 213–222.
3. **Бадалян В.Г., Базулин Е.Г.** Применение псевдослучайных последовательностей в цифровой акустической голографии // Акустический журнал. 1989. Т. XXV. № 5. С. 784–790.

С.8. КОНТРОЛЬ ПАРАМЕТРОВ ВЗВЕШЕННЫХ ЧАСТИЦ В ДИСПЕРСНЫХ ЖИДКОСТЯХ

Карабегов М.А., ЗАО «НИИИИ МНПО «Спектр», Москва, Россия

Дисперсные жидкости являются двухфазными средами «жидкость – взвешенные частицы», называемыми также дисперсными системами и мутными средами. Дисперсные смазочные, гидроприводные, топливные и другие рабочие жидкости широко применяются в машиностроении, авиации, энергетике, микроэлектронике, ж/д транспорте и других областях. Важной проблемой обеспечения технологической эффективности является соблюдение норм чистоты рабочих жидкостей по гранулометрическим параметрам – размерам и концентрации взвешенных частиц. Гранулометрический контроль смазочных и других рабочих жидкостей актуален в трибологии (триботехнике) в процессах трения, износа и смазки твердых тел, взаимодействия твердых тел при их относительном перемещении. Параметры размеров и концентрации взвешенных частиц в рабочих жидкостях регламентированы в ГОСТ 17216–2001 «Чистота промышленная. Классы чистоты жидкостей». Стандарт устанавливает классификацию промышленной чистоты (ПЧ) жидкостей, применяемых при изготовлении, эксплуатации и ремонте машин и приборов (рабочих жидкостей гидравлических систем привода и управления машин, приводов инструментов; смазочных масел, жидких топлив, растворителей), а также кодирование ПЧ жидкостей, используемых в системах гидропривода. В ГОСТ 17216–2001 предусмотрены 19 классов чистоты жидкостей, размеры частиц в пределах 0,5...200 мкм, распределенные по 8 группам, и численные концентрации частиц до 3000 ч/100 см³ (число частиц загрязнителя в (100 ± 0,5) см³ жидкости при размере частиц по группам). Согласно ГОСТ 17216–2001 чистоту рабочей жидкости можно определять также по индексу и коду загрязненности жидкости. По параметрам размеров и численной концентрации частиц устанавливаются нормы чистоты рабочих жидкостей в зависимости от требований безопасности и технологических условий. Превышение допускаемых норм этих параметров приводит к интенсивному износу оборудования и сокращению сроков его эксплуатации, увеличению доли некачественной продукции, загрязнению атмосферы, значительным экономическим и временным потерям, отказам, авариям и катастрофам.

Контроль размеров и концентрации взвешенных частиц в дисперсных жидкостях осуществляется с помощью методик и аппаратуры, в основном базирующихся на оптических методах. Известные оптические методы исследования и контроля дисперсных жидкостей основаны на физических закономерностях нефелометрии и турбидиметрии. В указанных методах информативные параметры формируются при взаимодействии излучения с интегральной массой относительно больших концентраций взвешенных частиц, что недостаточно эффективно для задач промышленной чистоты при определении размеров и относительно малых концентраций частиц в рабочих жидкостях. Задача автоматизированного гранулометрического контроля частиц в рабочих жидкостях эффективно решается на основе фотометрическо-счетного метода, основанного на формировании информативного параметра, предусматривающего оптическое сканирование каждой частицы.

Структура базового фотометрическо-счетного анализатора дисперсных жидкостей включает: устройство дозирования и капиллярную кювету для протока анализируемой дисперсной жидкости; оптическую схему, формирующую в кювете ярко освещенную зону регистрации, в которой осуществляется оптическое сканирование каждой частицы; вычислительную систему, выполненную преобразование сигналов и представление результатов измерений в виде зависимости «размерная фракция – количество частиц» и других функций. Информативным параметром анализатора являются кратковременные импульсы из-

лучения, образующиеся в моменты пересечения каждой частицей зоны регистрации при протоке через кювету прибора анализируемой дисперсной жидкости. Фотоприемник преобразует импульсы излучения в электрические сигналы, которые в вычислительном устройстве дифференцируются по значениям амплитуд. Амплитуды импульсов пропорциональны размерам частиц, частота поступления импульсов пропорциональна концентрации частиц. Амплитудный спектр импульсов соответствует дифференциальной кривой распределения частиц по размерам. Зависимость между амплитудой сигнала U и диаметром d частиц определяется как

$$U = kd^2,$$

где $k = \text{const}$.

Количество n^1 зарегистрированных импульсов пропорционально действительной численной концентрации частиц n :

$$n = \zeta n^1,$$

где ζ – постоянная прибора, большая или равная единице.

При измерении размеров частиц амплитуда измерительного сигнала определяется интенсивностью светорассеяния и геометрией прибора – углом между оптическими осями осветителя и фотоприемника. Для определения размеров частиц неизвестного происхождения с диаметром $d \gg \lambda$, где λ – длина волны излучения, в анализаторе применена схема с 0° -ной геометрией с совпадением осей освещения и регистрации излучения. В этом случае регистрируется дифракционная составляющая рассеяния, незначительно зависящая от преломляющих свойств частиц и соответственно от их природы. Интенсивность импульса излучения пропорциональна отношению площадей поперечного сечения частицы и зоны регистрации.

Важной особенностью анализатора является встроенный калибратор с аттестованной частицей, установленный в оптической схеме прибора. Для расширения диапазона калибровки по размерным группам калибратор размещен за рабочей кюветой вдоль оптической оси в плоскости с оптическим увеличением. Посредством микрообъектива с коэффициентом увеличения k , например $k=10$, изображение зоны регистрации проецируется в плоскость полевой диафрагмы. На фотоприемник попадает часть увеличенного изображения зоны регистрации, которая соответствует площади полевой диафрагмы. Это эквивалентно ограничению поля зрения микрообъектива и выделению из освещенной зоны узкой части S :

$$S' = S/k^2,$$

где S – площадь сечения полевой диафрагмы.

Для калибровки иных порогов амплитудного анализатора в калибратор помещают частицу иного размера или переустroйкой устанавливают другое значение коэффициента увеличения оптической системы.

В режиме калибровки и коррекции аналогично режиму измерения колебания частицы модулируют излучение, попадающее на фотоприемник. На выходе образуется регулярная последовательность калибровочных электрических импульсов, по которым с помощью вычислительного устройства осуществляется коррекция и калибровка схемы.

В настоящее время производятся гранулометрические анализаторы частиц в жидкостях ГРАН-152, ГРАН-152.1, ГРАН-152.2. Диапазон регистрируемых частиц 3...200 мкм, размерные группы, мкм: 3...5, 5...10, 10...25, 25...50, 50...100, 100...200, диапазон измерения концентрации частиц 0...2500 част/мл, диапазон измерения в единицах классов чистоты по ГОСТ 17216–2001 4...17. Контроль жидкостей на ГРАН-152 и -152.1 производится путем отбора проб и пропускания их через прибор, на ГРАН-152.2 – в потоке жидкости.

С.9. ОСОБЕННОСТИ АКУСТИКО-ЭМИССИОННОЙ СПЕКТРОСКОПИИ ФЛУКТУАЦИОННЫХ ЭФФЕКТОВ РАЗРУШЕНИЯ

Крылов В.А., Управление Ростехнадзора по Тверской области, Тверь, Россия

Разрушение металлов сопровождается акустической эмиссией, имеющей сложный спектральный состав. По спектрам можно осуществлять диагностику и прогнозировать вероятность разрушения. Характер спектра определяется двумя точками сингулярности экстремального пограничного слоя, которым аппроксимируется область предразрушения, формируемая у вершины макротрещины. Одна из точек имеет геометрический (вершина макротрещины), а другая термодинамический (температура фазового перехода 2-го рода) характер. В окрестностях этих точек наблюдаются макроскопические флуктуации параметров среды. Рассмотрению подлежат флуктуации параметра порядка; корреляционные функции этих флуктуаций определяют спектры акустической эмиссии. Изучение флуктуационных эффектов, сопровождающих разрушение, и является основной задачей акустико-эмиссионной спектроскопии.

Трудности решения этой задачи связаны с тем, что: 1 – окрестности точек сингулярности имеют фрактальную (дробную) размерность; 2 – каждая окрестность описывается разложением «своего» потенциала: потенциала ускорений и термодинамического потенциала соответственно; 3 – решение ищется вдали от равновесия; 4 – флуктуации являются взаимодействующими. К этому следует добавить еще, что связь флуктуации параметра порядка с акустической эмиссией весьма нетривиальна.

Утверждается, что при подходящем выборе системы координат экстремального пограничного слоя, удовлетворяющих условию гиперболической калибровочной симметрии, обе точки сингулярности могут быть совмещены. Совмещение происходит при некоторой температуре, при которой эффективный модуль сдвига в окрестности совмещенной точки сингулярности обращается в ноль, и окрестность переходит из кристаллической фазы в квазиаморфную (свойства твердого тела при этом сохраняются). При этом критические параметры разрушения (фрактальный, полевой и термодинамический) становятся согласованными друг с другом. Именно при этой температуре и проводится расчет критических констант, определяющих характер флуктуации: G – числа Гинзбурга, X – волнового вектора «ультрафиолетовой» обрезки флуктуации и g – константы взаимодействия. Две первые константы определяют границу области, внутри которой сосредоточены большие флуктуации параметра порядка, представляющие практический интерес с точки зрения акустико-эмиссионной спектроскопии. В окрестности указанной температуры стрикционный коэффициент, устанавливающий связь флуктуации параметра порядка с акустической эмиссией, мал, но сами флуктуации могут достигать большой (теоретически бесконечной) величины, что делает возможным наблюдение акустической эмиссии на практике.

Спектр акустической эмиссии при этом имеет сплошной негауссов характер.

Дальнейшая трансформация спектра определяется большой величиной константы взаимодействия g , что приводит к сильному взаимодействию флуктуации. При этом происходит столь значительная ренормировка параметров корреляционных функций, что нужно искать иной способ их расчета, нежели стандартная процедура ренорм-групповых преобразований.

Выход состоит в переходе от «полевого» к «корпускулярному» способу расчета.

Утверждается, что большие флуктуации параметра порядка в окрестности точки сингулярности могут возбуждаться на микроскопическом уровне за счет квазичастицы – фрактонa, обладающего фрактальной массой и зарядом, равным константе взаимодействия g (инвариантным зарядом). На основании решения уравнения Шредингера для квантового

осциллятора установлено, что фрактальные свойства этой квазичастицы приводят к расщеплению ее энергетических уровней, а для ее инвариантного заряда реализуется условие асимптотической свободы. Это означает, что величина инвариантного заряда растет с ростом длины волны флуктуации вплоть до некоторого критического масштаба, определяемого максимальным размером области предразрушения. При этом следует различать два случая: статический и динамический.

В случае покоящегося заряда имеем дело с флуктуациями параметра порядка, возбуждаемыми случайными переходами фрактонa между расщепленными и основными уровнями его энергии. Акустическая эмиссия при этом будет возбуждаться за счет того, что стрикционный коэффициент теперь становится большим из-за сильной ренормировки температуры.

Спектр акустической эмиссии при этом будет иметь вид дублета, относительная величина расщепления которого пропорциональна фрактальной размерности.

В случае движущегося заряда, соответствующего развивающейся макротрещине, ситуация гораздо сложнее. Корреляционная функция флуктуации движущегося вместе с вершиной макротрещины квазиаморфного фронта области предразрушения в этом случае становится неотличимой от волновой функции уравнения Шредингера для ансамбля притягивающихся Бозе-частиц с 5-коротким потенциалом взаимодействия. При этом, как известно, могут наблюдаться связанные состояния этих частиц. Физически образование связанных состояний соответствует условию «замораживания» квантовых флуктуаций, что в случае твердого тела соответствует условию образования и слияния микротрещин. Эта стадия соответствует переходу окрестности точки сингулярности из квазиаморфной в деструктивную фазу разрушения.

На этой стадии разрушения спектр акустической эмиссии имеет квазирелаксационный характер; в спектре наблюдается расщепление спектральных линий, но максимум спектра сдвинут в область низких частот (центральный пик).

На завершающей деструктивной стадии ищется решение для области предразрушения, заполненной ансамблем взаимодействующих микропор-микротрещин, удовлетворяющей условиям открытости и диссипативности. Минимальный набор микроскопических уравнений, привлекаемых для описания такого рода ансамблей, состоит из двух уравнений: кинетического и баланса энергий. Условие открытости обеспечивается скачком макротрещины, в результате которого область предразрушения «обменивается» с окружающим ее телом металлом специфической субстанцией – микропорами-микротрещинами; диссипативность – превращением энергии разрушения в тепловую. При этом из условия равенства нулю мнимой части критического механического напряжения удастся рассчитать критические параметры разрушения: эффективную температуру фазового перехода в квазиаморфное состояние, критическую температуру фазового перехода 2-го рода T_c , критическую длину микротрещины, а также частоту максимальной гармоник в спектре флуктуации I_c . В результате этого теория акустико-эмиссионной спектроскопии флуктуационных эффектов разрушения приобретает законченный характер.

Деструктивной стадии соответствует релаксационный спектр акустической эмиссии, основная энергия которого концентрируется в окрестности нулевой частоты.

Фрактальная размерность является основным параметром на всех стадиях разрушения – это связано с ее энтропийным смыслом. На начальной стадии она характеризует кривизну скалярного поля в окрестности точки сингулярности; на стадии фазового перехода в квазиаморфную фазу – специфические свойства материала на стадии предразрушения; на деструктивной стадии – образование несплошностей, и, наконец, на заключительной стадии – скачок макротрещины. На заключительной стадии фрактальная размерность аналитически выражается на основании соотношения Мандельброта через логарифм ко-

эффициента масштаба, равного отношению величины скачка макротрещины к максимальному размеру области предразрушения.

Связь фрактальной размерности со спектром акустической эмиссии теоретически устанавливается на основании флуктуационно-диссипационной теоремы. На практике спектры акустической эмиссии аппроксимируются спектрами квазипериодических решений кубического точечного отображения, соответствующего динамическому уравнению для заданной координаты конфигурационного пространства экстремального пограничного слоя. По измеренной спектральным методом величине фрактальной размерности прогнозируется вероятность разрушения по формуле Вейбулла, в которую фрактальная размерность входит параметром формы. В этом и состоит практический смысл акустико-эмиссионной спектроскопии разрушения.

Спектры акустической эмиссии в диапазоне частот 0,02...2,0 МГц, экспериментально измеренные автором на всех стадиях разрушения образцов из коррозионно-стойкой стали (коррозия под напряжением) в общем и целом подтверждают вывод о возможности изучения флуктуационных эффектов разрушения методом акустико-эмиссионной спектроскопии.

С.10. МЕТРОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ НАСТРОЙКИ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ ПРИ УЛЬТРАЗВУКОВОМ КОНТРОЛЕ

Воронков В.А., Воронков И.В., *ОАО НПО «ЦНИИТМАШ», Москва, Россия*

Из применяемых средств ультразвукового контроля метрологической поверке подлежит дефектоскоп, так как он является средством измерений в отношении двух параметров: разности амплитуд (дБ) и промежутков времени или расстояний (мкс, мм). При этом указываются погрешности измерений указанных параметров: для амплитуд – исходя из возможностей электронной части дефектоскопа, а для расстояний – с добавлением свойств стандартного образца.

При настройке чувствительности контроля фиксируется отражательная способность искусственной несплошности в виде измеренной амплитуды эхосигнала. В общем случае амплитуда является функцией следующих параметров:

а) для прямого преобразователя – частота, размер пьезопластины и затухание ультразвука – всего 3 параметра;

б) для наклонного преобразователя – частота, размер пьезопластины, затухание ультразвука, угол ввода и задержка в призме, всего 5 параметров;

Эти параметры вносят свой вклад в погрешность измерения амплитуды эхосигнала, которую можно выразить в виде формулы

$$\Delta A_{\text{эхо}} = A(\Delta f, \Delta S_{\text{пл}}, \Delta \delta_{\text{зат}}, \Delta \alpha, \Delta r_{\text{пр}}).$$

Указанная функциональная зависимость реализована в универсальной системе эталонирования чувствительности ультразвукового контроля «АРД-универсал 3». Задавая в ней вариации исходных параметров, можно оценить вклад каждого из них в погрешность измерения амплитуды эхосигнала, а вместе с ней и погрешность оценки эквивалентного размера обнаруживаемых несплошностей.

С.11. ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ УЛЬТРАЗВУКОВОГО СТРУКТУРОСКОПА УС-3ЦЛ ДЛЯ КОНТРОЛЯ ЧУГУННЫХ ТРУБ

Воронкова Л.В., *ОАО НПО «ЦНИИТМАШ»*,
Носов В.А., *ООО «ЧугунСпецСтрой»*, Москва, Россия

Ультразвуковой структуроскоп УС-3ЦЛ предназначен для определения формы графитных включений в чугуне, отбела и резких перепадов по структуре. По скорости ультразвуковой головной волны можно оценить степень шаровидности графитных включений. Структуроскоп позволяет измерить с точностью 0,01 мкс время прохождения головной волны между излучателем и приемником. Расстояние между точками ввода и приема волны составляло 70 мм, конструкция преобразователя – раздельно-совмещенная, частота – 2,5 МГц. Для работы по криволинейной поверхности предусмотрена возможность вращения излучателя и приемника вокруг горизонтальной оси при постоянном положении точек ввода и приема головной волны.

Проводилась структуроскопия труб из чугуна с шаровидным графитом диаметром 150...300 мм и толщиной 6...10 мм, изготовленных на ОАО «ЛМЗ «Свободный сокол» (Липецк). Поверхность труб была в литом состоянии, акустической средой служил гель.

Имея предварительное описание структуры настроечных образцов, можно было сопоставить границы времени прохождения головной волны образцов с оптимальной шаровидной формой графита ($> 95 \%$), пограничной ($90...95 \%$) и недопустимой ($< 90 \%$). У структуроскопа предусмотрено три уровня чувствительности, и для конкретной цели контроля необходимо подбирать соответствующий уровень. При работе на высоком уровне чувствительности кроме формы графита видно влияние структурных составляющих – цементита, перлита. Их повышенное содержание увеличивает амплитуду прошедшего сигнала и искажает время прохождения головной волны. Если нужна информация только о форме графита, лучше работать на среднем уровне чувствительности.

Очень наглядно по резкому возрастанию времени прохождения головной волны определялись границы участков серого чугуна с пластинчатым графитом, встречающиеся на концах труб. Время контроля одной трубы в пяти участках по длине составляло несколько минут, что дает возможность построить эту операцию в конвейер и не нарушать технологическую цепочку. Применение структуроскопа позволяет оперативно удалять из дальнейшей механической и термообработки трубы с дефектной структурой. Структуроскоп можно использовать для контроля любых чугунных отливок после предварительной настройки по образцам с известной структурой.

С.12. АДАПТИВНАЯ СИСТЕМА ТЕСТИРОВАНИЯ И ОЦЕНКИ МЕТАЛЛА ОБОРУДОВАНИЯ ТЭС ПО ДАННЫМ ПЕРИОДИЧЕСКОГО НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ

Гребенник В.С., *ОАО «ВТИ»*, Москва, Россия

Рассмотрены вопросы периодического неразрушающего контроля (НК) металла применительно к максимальному использованию индивидуального ресурса теплосилового оборудования (ТСО). Исследованы варианты НК при разрушении металла. Выбраны оптимальные методы и параметры НК для ТЭС. Разработана отраслевая система НК, включающая в себя: специализированные методы, руководящие технические материалы (РТМ), отраслевые стандартные образцы (ОСО), базы данных (БД), технические решения, способы оценки металла оборудования по данным периодического НК, необходимое программное обеспечение, автономные компьютерные модули и др.

ТСО относят к уникальным промышленным изделиям. Актуальна проблема длительного использования (60 лет и более) установленного на ТЭС дорогостоящего ТСО. Его ресурс зависит от многих факторов (исходные материалы, процесс изготовления оборудования, условия его эксплуатации и др.). В случае ползучести истощение прочности и пластичности металла высокотемпературного ТСО может наступить в течение ~100 тыс. ч эксплуатации. Ресурс ТСО, работающего вне ползучести, в несколько раз больше. Непроектные условия (агрессивные пароводяные смеси, температурные перепады, весовые нагрузки, вибрация и т.п.) ускоренно ухудшают эксплуатационные свойства стали. Время до истощения работоспособности ТСО является его индивидуальной характеристикой.

Технические условия на изготовление ТСО содержат квалитетические требования к предельным дефектам однородности и сплошности (размер, форма, расположение, ориентация, число). Завод применяет НК для регулирования технологического процесса, при этом граница приемлемого качества выражена в условных единицах. Нормы НК основаны на связи $A(x)$ показаний прибора НК с размером искусственного дефекта x (диаметр просверленного отверстия, глубина фрезерованного паза и т.п.).

Зависимость $A(x)$ соответствует «прямой» задаче НК. В случае ультразвукового контроля (УЗК) дефект характеризуют площадью S_3 эквивалентного (по сигналу от него) дискового отражателя. Величина S_3 меньше площади поверхности дефекта S (оценка снизу), если НК выполняют по обоснованным и метрологически обеспеченным РТМ. Соответственно, «эквивалентный диаметр» $D_3 = (4S_3/\pi)^{1/2}$ меньше характеристического размера дефекта.

Система НК для визуального, магнитного, акустического, капиллярного цветного, радиографического методов НК (обозначены В, М, УЗ, Ц, Р) до пуска ТСО характеризуется остаточной дефектностью (превышение предельного нормативного значения до 2 раз).

Остаточная дефектность НК

Стадия НК	Вероятность необнаружения дефектов	
	на внешней поверхности	скрытых (внутри стенки)
Пооперационный при изготовлении	0,014 (В, М/Ц)	0,0012; (М/Ц, УЗ/Р)
При монтаже (ремонте)	То же	То же
Входной (в состоянии поставки)	0,014 (В, М/Ц, УЗ)	0,0012 (М/Ц, УЗ/Р)
Все указанные стадии (итог)	0,00026	0,000014

В эксплуатации требуется по сигналу A определить размер и опасность скрытого дефекта в отсутствие достаточных априорных сведений о нем (обратная задача). Для определения прочности необходима оценка размера сверху (консервативный подход). Эксперимент УЗК показывает большое (20 дБ) рассеяние амплитуд сигналов, если форма искусственных дефектов варьируется. Оценку размера дефекта сверху используют в расчетах ресурса ТСО.

Консервативный расчетно-экспериментальный подход к оценке скрытого дефекта по данным эксплуатационного УЗК разработан в ВТИ. Он основывается на экспериментальных данных о трещинах и расчетном моделировании дефектов (трещин) в виде пространственного наложения случайных поверхностей разрывов, образующих многоэлементные композиции (МЭК). Поставлена задача нахождения функции распределения (ФР) для максимального рассеяния сигналов A вследствие достаточно широкой вариации фаз и равенства амплитуд A_1 парциальных компонент МЭК, элементы которых равномерно

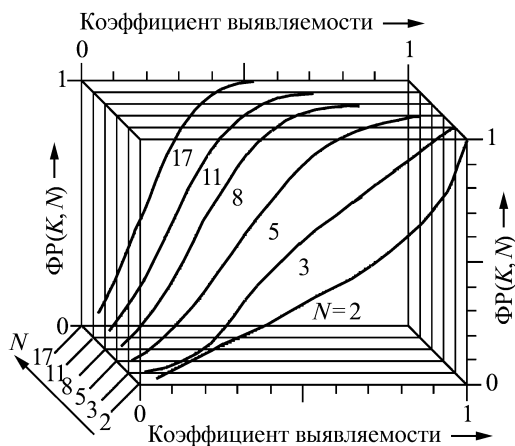


Рис. 1

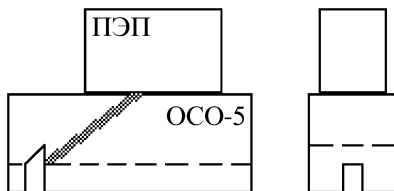


Рис. 2

располагаются в пространстве. Условие неоптимизируемого НК (как инвариантность выявляемости ансамбля конфигураций МЭК в среднем) увеличивает вероятность пропуска дефектов по критерию пороговой амплитуды. Искомая ФР сигналов МЭК на интервале от 0 до $A \leq A_{\max}$, приблизительно соответствует статистике Релея. С учетом независимых m измерений НК функция распределения равна

$$P(x|A) \approx [1 - \exp(-A^2/E)]^m = [1 - \exp(-A^2/2B)]^m; E = \langle A^2 \rangle,$$

где B – наиболее вероятное значение A ; угловые скобки обозначают усреднение по всем возможным значениям A^2 .

Полученное статистическое решение обратной задачи устойчиво. На рис. 1 показаны уточненные кривые вероятности пропуска в зависимости от минимального коэффициента выявляемости $K = A/A_{\max}$ для множества однородных МЭК, характеризуемого числом элементов N и максимальной амплитудой $A_{\max} = NA_1$.

При оптимальном угле ввода рассеяние амплитуд сигналов до 30 дБ (расчет) для доверительной вероятности 99 %, эксперимент дает 25 дБ (трещины при разрушении образцов теплотехнических сталей). Получение данных при НК на двух частотах и углах ввода позволяет снизить рассеяние до 12 дБ.

Для обеспечения единства и точности измерений при НК и повышения достоверности оценки ТСО в ВТИ разработаны средства, способы и методические указания на проведение НК, в том числе по настройке уровней фиксированных разделительных параметров и определению погрешности данных, получаемых в ходе измерений. Предложенный метод вторых моментов вошел в ГОСТ 14782–86, образец ОСО-4 (по а.с. ВТИ) включен в ГОСТ под шифром СО-4. Применяется для точной передачи браковочного уровня метрологически совершенный ОСО-5 (а.с.) с аналогом дефекта «зарубка» (рис. 2).

Разработаны способы изготовления прецизионных СОП, комплект РТМ, обеспечивающих необходимый уровень выявляемости опасных дефектов, представительность и помехоустойчивость результатов НК металла ТЭС, компактность хранения и оперативную доступность данных, их пригодность для автоматизированной системы информации. Разработаны компьютерные модули PLANER, METAL, SPRINT, KARTA, TEST для НК, TENZOR для расчетной оценки на основе НК прочности и ресурса по отраслевым РД.

Отраслевая система НК металла ТЭС предусматривает корректировку уровней чувствительности НК с учетом метода контроля, конструктивных особенностей контролируемого ТСО, а также условий и длительности его эксплуатации.

С.13. МНОГОЭЛЕМЕНТНЫЕ ДЕТЕКТОРЫ ДЛЯ РЕНТГЕНОВСКОЙ ТОЛЩИНОМЕТРИИ

Артемьев Б.В., Волчков Ю.Е., Маслов А.И.,
ЗАО «НИИИИ МНПО «Спектр», Москва, Россия

В настоящее время существует большое количество типов приемников рентгеновского излучения. Их высокая востребованность в промышленности обусловлена возможностями метода – наиболее информационного с точки зрения количества получаемой информации об объекте контроля. Рентгеновская толщинометрия позволяет эффективно измерять толщину металлического проката с эффективным атомным номером материала $Z = 12 \dots 72$ в процессе производства без изменения технологического цикла. Данный метод измерения удобен (бесконтактный, экологически чистый – в отличие от изотопного), но являясь косвенным методом измерения, накладывает определенные ограничения на точность результатов в случае изменения химического состава контролируемого изделия и его плотности. Высокая стабильность изотопных источников подразумевает необходимость подобных параметров для рентгеновских приборов. Для решения этих задач и достижения необходимой точности измерения в составе рентгеновских толщиномеров были применены новые детекторы ионизирующего излучения – многослойные гетерогенные камеры, обладающие энергетической чувствительностью. Данное решение позволяет не только получить расширенный динамический диапазон измерения толщины и корректировать погрешность, вносимую в процесс измерения нестабильностью рентгеновского излучения, но и избежать влияния механических вибраций (микрофонного эффекта) и изменения спектра излучения (рекристаллизации анода и осаждения атомов металла на окне рентгеновской трубки) на точность измерения. Экспериментальные исследования показали, что степень влияния нестабильности напряжения и тока источника зондирующего излучения на результаты измерения толщины цветных металлов с использованием рентгеновского толщиномера при использовании данного решения уменьшилась более чем в 10 раз и стала неразличима на фоне квантовых флуктуаций в детекторах.

Приводятся статистические данные по эксплуатации многоэлементных детекторов в составе толщиномеров в условиях производства проката цветных металлов при дистанционном обслуживании в течение года, полученные без участия персонала завода. Описанный опыт работы позволяет кардинально сократить расходы на обслуживание приборов в период гарантийного срока.

С.14. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДА ВИРТУАЛЬНОЙ ДИНАМИЧЕСКОЙ ФОКУСИРОВКИ ДЛЯ УЛЬТРАЗВУКОВОЙ ТОМОГРАФИИ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ИЗДЕЛИЙ

Соколов Н.Ю., *ООО «Акустические Контрольные Системы», Москва, Россия*

При использовании фазированных антенных решеток, как правило, обеспечивается формирование сигналов на основе так называемых фокусных законов, которые представляют собой набор задержек на излучение и прием каждым элементом фазированной решетки, с помощью которых можно сфокусировать УЗ-пучок по различным направлениям. Возможны режимы фокусировки не только по заданному углу, но и на заданную глубину. Наличие нескольких режимов обеспечивает гибкость в работе, но существенно усложняет настройку оборудования, которая может производиться только хорошо подготовленным специалистом.

Однако фокусировку не обязательно производить перед излучением УЗ-сигнала. Возможен также вариант динамической виртуальной фокусировки, когда каждая пара элементов фазированной антенной решетки излучает и принимает сигнал независимо от других элементов. Принятые и оцифрованные сигналы всех возможных пар элементов запоминаются, а затем суммируются при получении изображения структуры объекта контроля. При этом фокусировка независимо производится в каждую точку получаемого изображения, т.е. в каждую точку контролируемой области объекта. Это увеличивает количество вычислений в процессе контроля, но обеспечивает значительно лучшее отображение образов дефектов в более широком диапазоне углов и глубин.

В докладе подробно рассматривается работа УЗ ВЧ томографа для контроля металлов А1550, созданного в ООО «Акустические Контрольные Системы», который реализует на практике метод виртуальной динамической фокусировки. Благодаря виртуальной фокусировке можно исследовать объекты, обладая гораздо меньшими знаниями о возможной глубине залегания и расположении дефектов. Она также существенно упрощает работу с прибором, так как не требует настройки различных фокальных законов и других сложных параметров, что позволяет работать с прибором рядовому дефектоскописту без специальной подготовки.

С.15. МАТРИЧНЫЙ ПОДХОД К ВЫБОРУ ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ ДИАГНОСТИРОВАНИЯ ТРУБОПРОВОДНЫХ СИСТЕМ

Бобров С.В., Детков А.Ю., Зарицкий С.П., ЗАО «ДИГАЗ», Москва, Россия

В докладе рассматриваются вопросы выбора технических средств неразрушающего контроля и технической диагностики таких ответственных объектов топливно-энергетического комплекса (ТЭК), как газонефтепроводы и элементы инфраструктуры трубопроводного транспорта.

Отмечается, что обеспечение надежности и безопасности эксплуатации трубопроводного транспорта газа, нефти и нефтепродуктов не может быть достигнуто без информации о реальном техническом состоянии трубопроводов.

Несмотря на то что существующие нормативные документы (НД), регламентирующие алгоритм сбора диагностической информации, предусматривают для этого технические средства НК, выбор этих средств осуществляется, как правило, по принципу цена/качество.

Предлагается матричная модель выбора технических средств НК для диагностирования объектов ТЭК, исключая влияние субъективных факторов.

Форма и состав матрицы позволяют автоматизировать процесс выбора технических средств из имеющегося парка с учетом требований соответствующих НД, в том числе отраслевых, предусматривающих оценку технического состояния объекта по параметрам выявляемых (регистрируемых и измеряемых) дефектов и повреждений.

Рассмотрены «весовые» коэффициенты, входящие в матрицу, определяющие вероятность наличия в контролируемом объекте опасных (недопустимых) дефектов. Предложена система «семафора» при принятии решения по данным контроля средствами НК.

С.16. АВТОМАТИЧЕСКИЙ КОНТРОЛЬ ВНЕШНЕГО ВИДА ЦИЛИНДРИЧЕСКОЙ ПОВЕРХНОСТИ ТОПЛИВНЫХ ТАБЛЕТОК

Завьялов П.С., Финогенов Л.В., Белобородов А.В., Власов Е.В., *Конструкторско-технологический институт научного приборостроения СО РАН, Новосибирск, Россия*

В число важнейших критериев качества топливных таблеток из UO_2 , используемых в тепловыделяющих элементах атомных реакторов, входит их внешний вид. Таблетки как керамические изделия склонны к образованию сколов и трещин в процессе технологических и транспортных операций. Согласно существующей методике контроль внешнего вида таблеток производится визуально с ручной отбраковкой дефектных изделий [1]. Такой контроль характеризуется низкими качеством и производительностью, обусловленными наличием субъективного фактора. Кроме того, таблетки при контроле располагаются беспорядочно в технологической таре в боксах, что затрудняет осмотр полной поверхности.

В Конструкторско-технологическом институте научного приборостроения СО РАН впервые в России создан опытный образец автоматической бесконтактной системы контроля внешнего вида топливных таблеток с производительностью 1 изд/с [2]. Принцип ее работы заключается в последовательном перемещении таблеток по контрольным позициям посредством роторного механизма. Регистрация изображений торцовых поверхностей осуществляется с помощью двумерных ПЗС-камер, а изображений боковой поверхности с помощью одномерной (линейной) камеры. При этом таблетка на контрольной позиции вращается на 360° . Полученные изображения поверхностей обрабатываются в компьютере на предмет выделения дефектных областей по специальному алгоритму [3], причем обработка изображений происходит параллельно процессу транспортирования таблеток.

Для встраивания разработанной системы в высокопроизводительную технологическую линию по производству топливных таблеток необходимо увеличить производительность контроля до $6 \dots 10$ изд/с. Сделать это не позволяет применяемый метод регистрации боковой поверхности таблеток. Для повышения производительности контроля разработан новый метод регистрации изображений цилиндрической поверхности таблеток на основе одновременного сканирования всей поверхности таблетки с помощью специальной четырехканальной оптической системы. На рис. 1 поясняется принцип контроля боковой поверхности.

Топливная таблетка 1 движется по призме с прорезью (на рисунке не показана) вдоль своей оси. Оптическая система регистрирует четверть боковой поверхности. Формирование фрагмента изображения поверхности происходит с помощью объектива 2 со специально рассчитанной кривизной поля и стандартного фотообъектива 5. Регистрация изображения производится линейной ПЗС-камерой 6. В качестве источника света используется светодиод 3, который через полупрозрачную пластину 4 освещает боковую поверхность таблетки. При этом наблюдение и освещение каждой точки изделия производятся по

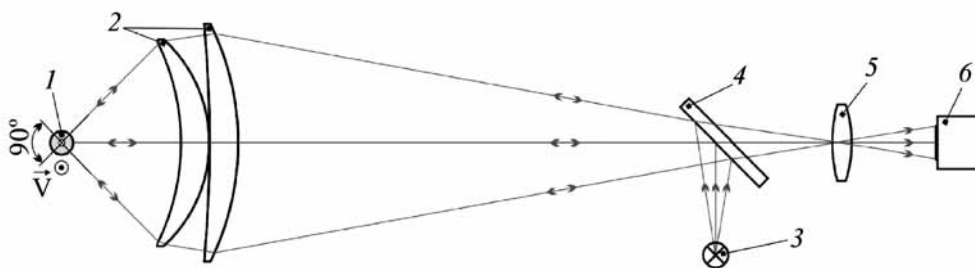


Рис. 1

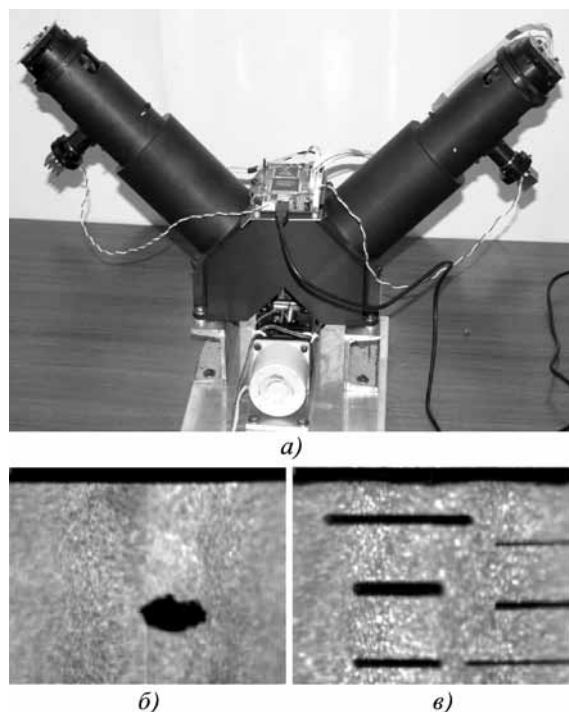


Рис. 2

нормали к поверхности, что обеспечивает высокий контраст дефектов. Устанавливая четыре оптических канала в одной плоскости, можно получить полное изображение боковой поверхности в процессе движения таблетки. Важно отметить, что на выходе из производственной линии топливные таблетки движутся именно так, как показано на рис. 1. Поэтому такое оптико-электронное устройство можно легко встроить в производственную линию без применения дополнительных механических устройств.

На рис. 2, *а* приведена фотография экспериментального образца системы с двумя оптическими каналами. На рис. 2, *б, в* представлены предварительно обработанные изображения половины боковой поверхности имитаторов таблеток с нанесенными дефектами. На изображении рис. 2, *в* самая тонкая линия соответствует дефекту шириной 0,1 мм. При полученном качестве изображений дефекты надежно обнаруживаются программой обработки изображений.

Представленный метод контроля внешнего вида боковой поверхности топливных таблеток может также применяться для контроля других изделий с цилиндрической поверхностью (труб, прутков, втулок и т.п.).

Литература

1. Решетников Ф.Г., Бибилашвили Ю.К., Головнин И.С. и др. Разработка, производство и эксплуатация тепловыделяющих элементов энергетических реакторов. Кн. 1. М.: Энергоатомиздат, 1995. 320 с.
2. Финогенов Л.В., Белобородов А.В. и др. Оптико-электронная система автоматического контроля внешнего вида топливных таблеток // Дефектоскопия. 2007. № 10. С. 68–79.
3. Финогенов Л.В., Белобородов А.В. и др. Способ обнаружения поверхностных дефектов цилиндрических объектов. Решение о выдаче патента; заявка № 2006109430/06(010253).

С.17. ДИАГНОСТИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС «ИНТЕГРАЛ» И АНАЛИТИЧЕСКАЯ СИСТЕМА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ «КАСКАД»

Тарабрин В.Ф., Группа компаний «ТВЕМА», Москва, Россия

Доклад посвящен проблеме создания аппаратной и аналитической систем комплексной диагностики технических объектов инфраструктуры и обеспечения безопасной эксплуатации подвижного состава на железнодорожном транспорте.

В современных условиях эксплуатации железных дорог Российской Федерации железнодорожный путь испытывает интенсивное воздействие поездных нагрузок. В сочетании с влиянием множества техногенных, погоднo-климатических и геологических факторов это приводит к возникновению в железнодорожном пути деформаций, в том числе создающих угрозу безопасности движения поездов.

В целях уменьшения потребности в средствах диагностики, и в первую очередь съемных, полного перехода на автоматизированные системы контроля состояния пути и его элементов специалистами группы компаний «ТВЕМА» в последние годы начато внедрение принципиально новых мобильных средств для технической диагностики и мониторинга железнодорожного пути [1].

Примером может служить создание компанией совместно с ОАО «РЖД» высокоскоростного диагностического комплекса контроля объектов инфраструктуры «ИНТЕГРАЛ» (рис. 1), который позволит решить актуальную задачу в рамках повышения скорости и надежности пассажирских и грузовых перевозок ОАО «РЖД». Использование множества подсистем контроля в рамках одного диагностического поезда позволяет получить значимые преимущества при проведении плановых проверок состояния объектов инфраструктуры [2–7].

Комплекс способен одновременно и синхронно измерять более 100 основных параметров и показателей качества пути, путевых сооружений, контактной сети, железнодорожной автоматики и поездной радиосвязи как на высокой (200 км/ч), так и на малой рабочей скорости движения. Комплекс может работать в сложных эксплуатационных и климатических условиях, при низких и высоких температурах окружающей среды.

Все компоненты комплекса объединены в единый быстродействующий бортовой контрольно-вычислительный комплекс, получающий и обрабатывающий в реальном масштабе времени результаты измерений и видеосъемки. На основе полученных результатов измерений устанавливаются показатели качества инфраструктуры всех составляющих компонентов.

Диагностический комплекс способен выполнять следующие функции:

- контроль геометрических параметров рельсовой колеи;
- контроль геометрических параметров рельсов;
- определение дефектов рельсов, уложенных в путь;
- видеоконтроль наличия (отсутствия) элементов верхнего строения пути;
- контроль габаритов приближения строений;
- мониторинг состояния балластного слоя и верхней зоны земляного полотна;
- оценку состояния контактной сети;



Рис. 1



Рис. 2

- диагностирование путевых устройств железнодорожной автоматики;
- проверку состояния поездной радиосвязи во время движения.

Основой аналитической обработки информации служит система «КАСКАД» (рис. 2), которая объединяет результаты комплексного контроля в общий банк данных состояния объектов инфраструктуры и позволяет проводить комплексный анализ с целью составления в дальнейшем прогноза состояния железнодорожного пути. Прогноз является основой для проведения планово-предупредительного технического обслуживания пути и контактной сети.

Единый интерфейс комплекса «ИНТЕГРАЛ» и системы «КАСКАД» обеспечивает простоту последующей обработки и анализа результатов контроля для назначения работ по содержанию объектов инфраструктуры, позволяет производить мониторинг, а также определять динамику изменения контролируемых параметров пути.

В докладе рассмотрена структура комплекса, приводятся технические характеристики элементов системы и результаты ее опытной эксплуатации.

Литература

1. **Тарабрин В.Ф.** Развитие концепции НК, технической диагностики и мониторинга рельсового пути // В мире НК. 2006. № 3 (33). С. 67–70.
2. **Клепикова С.М., Монахов В.В., Еременко А.В., Зверев Е.О.** Перспективные направления в развитии георадиолокационных исследований: доклад на 2-й Междунар. науч.-практ. конф. «Инженерная геофизика». М., 2006.
3. **Финкельштейн М.И., Карпухин В.И., Кутев В.А., Метелкин В.Н.** Подповерхностная радиолокация. М.: Радио и связь, 1994.
4. **Коншин Г.Г.** Вибросейсмическая диагностика эксплуатируемого земляного полотна. М.: Транспорт, 1994.
5. **Braband J.** Проект единой методологии оценки риска для обеспечения безопасности на железных дорогах Европы // Signal und Draht. 2007. № 4.
6. **Judge T.** Путеизмерительная техника США // Railway Age. 2004. № 9.
7. **Garcia G. et al.** Лазер и ультразвук в дефектоскопии рельсов // Railway Track and Structures. 2004. № 6.

С.18. ТЕХНОЛОГИЯ И СРЕДСТВА ЛОКАЛЬНОГО И АВТОМАТИЗИРОВАННОГО НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ ДЕТАЛЕЙ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ПОДВИЖНОГО СОСТАВА

Молотков С.Л., Курков А.В.,

Научно-промышленная группа «Алтек», Санкт-Петербург, Россия

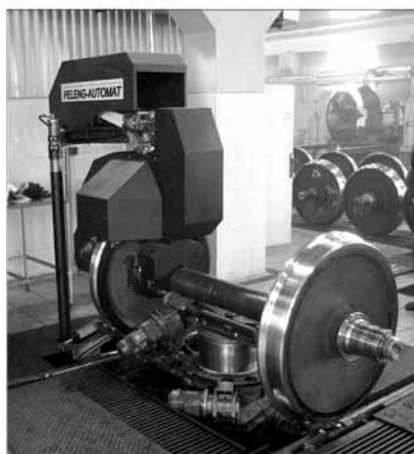
Повышение скоростей движения поездов, рост нагрузки на ось и увеличение массы поездов – вот лишь некоторые элементы динамики развития железнодорожного транспорта. В связи с этим вопросы безопасности движения железнодорожных составов имеют весьма важное значение. Несмотря на то что технология неразрушающего контроля (НК) деталей локомотивов и вагонов создана уже весьма давно, существующие методы и средства НК требуют постоянного совершенствования. В последнее время многое сделано как по развитию ручных приборов НК, так и по разработке новых автоматизированных средств диагностики ответственных узлов подвижного состава.

Ручные дефектоскопы, позволяющие реализовать локальный НК, на протяжении многих десятилетий преодолели огромный шаг в своем развитии. На заре ультразвуковой дефектоскопии простые аналоговые приборы для настройки чувствительности на входе приемного тракта не имели даже калиброванного делителя (аттенюатора). Появление ультразвукового дефектоскопа УД2-12, технические характеристики и возможности которого были значительно выше предшественников, указывало на то, что этот прибор займет достойное место в истории отечественной дефектоскопии и долгие годы будет главным ориентиром для других разработчиков дефектоскопов. И он действительно стал базовым прибором в службах НК вагонных и локомотивных депо, а также предприятий по строительству и ремонту подвижного состава железных дорог.

В конце XX в. появились дефектоскопы нового поколения. Это были первые цифровые приборы небольших габаритных размеров с принципиально новой элементной базой. Одним из них стал ультразвуковой дефектоскоп «PELENG» («ПЕЛЕНГ») УД2-102, созданный специалистами НПП «Алтек». Разработчики прежде всего ориентировались на нужды железнодорожного транспорта, в связи с чем были созданы локомотивная и вагонная версии. Позже к ним добавились версии для ультразвукового контроля деталей путевых машин и вагонов метрополитенов, а также версия для проведения приемочного контроля железнодорожных осей и колес.

Каждая из версий имеет «заготовки» будущих настроек, представленных в виде типовых вариантов. Это существенно упрощает процедуру настройки прибора и сокращает число возможных ошибок в процессе подготовки его к работе. Благодаря удобному интерфейсу дефектоскопист должен выбрать нужный ему объект контроля (из представленного списка), в полуавтоматическом режиме настроить глубиномер и чувствительность, а также сохранить в памяти прибора настройку. При этом большинство параметров контроля устанавливаются автоматически – в соответствии с «защитами» в дефектоскоп требованиями нормативных документов. Такой подход к созданию приборов пришелся по душе многим дефектоскопистам локомотивных и вагонных депо и других предприятий, в которых начал эксплуатироваться ультразвуковой дефектоскоп «PELENG» УД2-102.

Современные дефектоскопы превзошли своих предшественников и по другим функциональным возможностям: использованию различных сервисных режимов, возможности непосредственно в приборе создавать протоколы и отчеты контроля. Данные документы могут быть легко переданы из дефектоскопа в компьютер с последующей распечаткой на бумаге. Такой документ содержит все основные параметры контроля, время и дату проведения контроля, а также изображение сигнала от дефекта. Разработанная для компьютера



база данных позволяет хранить протоколы и отчеты о контроле, обрабатывать их, осуществлять поиск нужного документа и пр. Данное решение особенно полезно для железнодорожного транспорта, где в настоящее время создаются электронные паспорта как для проконтролированных деталей и узлов, так и в целом для подвижной единицы.

Неразрушающий контроль деталей подвижного состава представлен не только ультразвуковым, но и магнитным и вихретоковым методами контроля. Разработчики НПП «Алтек» учли этот факт и создали новый прибор «PELENG» УД2-102ВД, сочетающий в себе два метода: кроме уже упомянутого ультразвукового в нем имеется вихретоковый канал. Удобство такого дефектоскопа неоспоримо как с технической точки зрения, так и с экономической: теперь вместо двух приборов достаточно иметь один. При этом габариты и масса такого дефектоскопа не только не увеличились (по сравнению с «PELENG» УД2-102), а наоборот – стали меньше. Такие преобразования стали возможны благодаря современным технологиям и применяемой элементной базе.

Дальнейшим шагом развития средств ультразвукового контроля колесных пар (КП) грузовых и пассажирских вагонов явился переход к автоматизированному контролю. Для этого специалистами НПП «Алтек» был разработан и уже поставлен в 32 депо автоматизированный комплекс «PELENG-

AUTOMAT» («ПЕЛЕНГ-АВТОМАТ»). Данный комплекс применяется для выявления дефектов в оси, ободе, гребне и диске колеса КП с автоматической регистрацией результатов контроля и позволяет повысить производительность и достоверность контроля за счет автоматизации следующих операций:

- подъем и вращение КП в процессе поиска дефектов, разворот в горизонтальной плоскости, а также выведение КП из рабочей зоны по окончании контроля;
- установка и позиционирование сканеров на поверхности КП;
- настройка чувствительности и постоянная проверка работоспособности (включая чувствительность) каналов контроля;
- одновременное проведение контроля КП всеми установленными пьезоэлектрическими преобразователями (ПЭП) различных типов;
- подача контактирующей жидкости под каждый ПЭП;
- звуковая сигнализация обнаруженных дефектов;
- отображение параметров и результатов контроля на экране компьютера, а также их документирование на бумажных и электронных носителях (в том числе в виде базы данных);
- поворот КП, при котором ранее отмеченное комплексом сечение располагается в удобном месте для проведения подтверждения дефекта визуальным или другим методами контроля (режим «Доворот»).

Для настройки чувствительности каналов комплекса, а также для установки угла разворота ПЭП были разработаны стандартные образцы предприятия в виде КП с моделями дефектов. Проверка настройки чувствительности выполняется после контроля каждые 100 КП, но не реже одного раза в неделю.

Результаты эксплуатации комплексов объективно показали, что цель, ради которой они были созданы, выполнена и их применение является эффективным.

Специалисты НПП «Алтек» постоянно работают над созданием новых средств НК, обеспечивающих еще большее удобство и достоверность проводимого контроля.

С.19. АЛГОРИТМИЧЕСКОЕ И ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДЛЯ КОМБИНИРОВАННОГО МАГНИТНОГО И МАГНИТНО-АКУСТИЧЕСКОГО МЕТОДА ОЦЕНКИ МЕХАНИЧЕСКИХ ОСТАТОЧНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ

*Филинов В.В., Шатерников В.Е., Ключев С.В., Аракелов П.Г., Московский
государственный университет приборостроения и информатики, Москва, Россия*

Для контроля и оценки прочностных свойств изделий из ферромагнитных материалов широко применяются комбинированный метод неразрушающего контроля на основе магнитных (МШ) и магнитно-акустических шумов (МАШ) перематывания. Для этой цели используются известные приборы типа АФС и «ПИОН» с ограниченными возможностями обработки, анализа и представления информации МШ и МАШ.

На основе этих приборов разработана информационно-измерительная система магнитно-акустического контроля механических напряжений (СМАК-МН), расширяющая методические возможности указанных приборов.

В состав информационно-измерительной системы СМАК-МН входят следующие блоки: микроконтроллер (цифровой сигнальный процессор DSP), блок питания, индикатор, клавиатура, цифроаналоговый преобразователь (DAC), усилитель мощности, первичный преобразователь и предварительный усилитель. Основным элементом СМАК-МН является микроконтроллер (DSP) модели ADSP-21992 производства компании Analog Device. В его состав входят: центральный процессорный элемент (CPU), программная память (PM), оперативная память (RAM), последовательный интерфейс (RS-232C), последовательный периферийный интерфейс (SPI), набор таймеров, а также ряд других устройств.

Для данной системы создано алгоритмическое и программное обеспечение, позволяющее расширить функциональные и информативные возможности, а также автоматизировать обработку сигналов на основе многофакторной информации (МШ, МАШ, коэрцитивная сила) и существенно улучшить интерфейс с использованием современного сигнального процессора (ADSP-21992). Это позволило значительно расширить число измеряемых параметров МШ и МАШ, уменьшить время их измерения и увеличить точность измерения этих параметров, быстро выполнять их анализ и оценку в реальном масштабе времени с отображением полученных результатов на дисплее ПК, а также при необходимости сохранять полученные параметры на жестком диске ПК или на других носителях информации.

В результате этого разработанная магнитно-акустическая система позволила повысить чувствительность к контролю приложенных механических напряжений и достоверность оценки макронапряжений с отстройкой от влияния микронапряжений, а также учитывать влияние флуктуаций структурно-фазового состояния металла при оценке механических напряжений.

С.20. ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ПОВРЕЖДЕННОСТИ МИКРОСТРУКТУРЫ КОРПУСА РЕАКТОРА, УПРОЧНЕННОГО ВОЛОКНИСТОЙ ОБОЛОЧКОЙ

Волкова Т.А., *Уральский государственный университет путей сообщения,*
Волков С.С., *Институт машиноведения УрО РАН, Екатеринбург, Россия*

В докладе представлены результаты теоретического исследования прочности корпуса ядерного реактора. Корпус реактора содержит металлическую силовую тонкостенную оболочку и многослойную обмотку из полимерного материала. Обмотка представляет собой предварительно напряженную нить, навитую на оболочку с шагом, равным диаметру нити. Толщина металлической оболочки и нити выбраны из соотношений, связывающих давление внутри корпуса с характеристиками металла и обмотки [1]. Наличие волокнистой оболочки дает возможность вывода излучения реактора через боковую поверхность корпуса и увеличивает мощность реактора. При этом обеспечиваются прочность и небольшие габариты конструкции. При оценке прочности конструкции учитывается случайный характер деформационных и прочностных свойств материала и условий нагружения. Рассматривается случайное микроструктурное условие прочности [2]. Задача о поиске оптимальных размеров конструкции решена при различных коэффициентах запаса прочности с учетом развития ранних стадий микроструктурной поврежденности.

Внутренний радиус a силовой металлической оболочки известен из условия задачи. Внешний радиус оболочки b и внешний радиус обмотки c неизвестны и должны быть найдены так, чтобы при максимальном давлении p внутри цилиндра не возникли пластические деформации ни в корпусе, ни в обмотке. Предполагается, что верхнее и нижнее основания цилиндрического корпуса достаточно надежны. Суммарная величина стенок корпуса ограничена технологическими условиями. Увеличивая размеры b и c , нужно снизить напряжения в металле и волокне так, чтобы эти напряжения не выходили из упругой области. Толщина металлической стенки $b - a$ должна быть при этом наименьшей из возможных. Обозначим $x = b^2/a^2$ и $y = c^2/b^2$. Величины x, y находятся в результате решения системы уравнений:

$$\frac{xp}{(xy-1)(x-1)} \sqrt{y^2(3x^2-6x+4)+1} \leq \frac{1}{n} \sigma_{\tau}, \quad 2 \frac{(x-1)(S-v)-v}{(x-1)(S-xS-2x)} = v + \frac{E}{\tilde{E}} \left(1 + \frac{2}{y-1} \right), \quad S = \frac{\sigma_{\tau}}{np}.$$

Здесь E – модуль Юнга металла; v – коэффициент Пуассона металла; $\tilde{E}$ – модуль Юнга волокна; σ_{τ} – предел текучести металла; n – коэффициент запаса прочности.

Зная толщину стенок, находим деформации и напряжения в элементах конструкции. Оценивая максимальные из них, рассчитываем прочность корпуса реактора. Для прогнозирования ранних стадий разрушения нужно учесть, что напряжения в элементах микроструктуры могут отклоняться от средних из-за влияния случайных неоднородностей и микродефектов. Случайный характер имеет внутреннее импульсное давление p . Наряду с математическими ожиданиями $p, E, \tilde{E}$ соответствующих случайных величин учтем также коэффициенты вариации этих величин $kP, kE, k\tilde{E}$. Параметры распределения предела прочности $\sigma_{\tau}(X)$ элемента X микроструктуры считаем известными для данного материала. В частности, известны математическое ожидание s и коэффициент вариации ks . Развитие микро поврежденности в наиболее опасных точках приведет к потере надежности конструкции. Условие прочности для элементов микроструктуры X содержит случайное касательное напряжение $\tau(X)$ в металле корпуса:

$$\mu(X) \mu \tau(X) \sigma_{\tau}(X) < 0.$$

Распределение случайных напряжений $\tau(X)$ вычисляется методом тензора Грина для краевой задачи механики микронеоднородных сред [2]. При этом используются макроскопические деформации деталей конструкции, найденные при решении детерминированной задачи. В расчеты входят также характеристики распределения механических и прочностных свойств микроструктуры и случайных нагрузок, т.е. параметры $p, E, \tilde{E}, s, kp, kE, k\tilde{E}, ks$. В результате будет получена плотность распределения вероятностей $\varphi(x)$ случайной величины $\mu(X)$. Для аппроксимации распределения удобно использовать логарифмически-нормальную или нормальную плотность распределения. Вероятность микроразрушения материала q , т.е. ее относительная поврежденность, будет равна интегралу от плотности $\varphi(x)$ при $0 < x < \infty$. Если условие прочности микроструктуры распределено по нормальному закону, то поврежденность q выражается через коэффициент вариации k условия прочности и коэффициент запаса прочности n :

$$q = \frac{1}{2} \left(1 - \operatorname{erf} \frac{n-1}{k\sqrt{2}} \right).$$

Если вероятность микроразрушения превысит некоторую критическую величину, конструкция потеряет надежность. Критическая микроповрежденность материала определяется из эксперимента и инженерного опыта. Эта величина в статистических задачах является аналогом коэффициента запаса прочности для детерминированных задач.

Получена зависимость между величиной поврежденности, запасом прочности и вариациями структурных напряжений. Увеличение запаса прочности n соответствует уменьшению критической поврежденности q , допускаемой при работе конструкции. При увеличении разброса напряжений нужно использовать больший коэффициент запаса прочности. Рассмотрен числовой пример для корпуса из титанового сплава ВТ-6, упрочненного обмоткой из кевлара. Задача решена в детерминированном и в статистическом вариантах. Вычислены законы распределения микроструктурных напряжений и условий прочности. Найдена вероятность разрушения материала в наиболее опасных точках. Показано, что можно уменьшить толщину стенок реактора и повысить эффективность работы конструкции. Корпус и обмотка действуют при этом в безопасной области упругих макроскопических напряжений и деформаций.

Литература

1. Горин Н.В., Леваков Б.Г., Таскин В.Б., Путырский В.П., Волков С.С. Корпус ядерного реактора: 2031457 РФ/ЯЦ-ВНИИТФ НПП «Уралкомплекс». Снежинск, 1995.
2. Волкова Т.А., Соколкин Ю.В. Развитие микроповрежденности в композитных сосудах высокого давления // Механика композиционных материалов и конструкций. 1996. Т.2. № 3–4. С. 80–87.

С.21. ВОЛНОВЫЕ ЭФФЕКТЫ В ОБЛАСТИ ГРАНИЦЫ ДВУХ СРЕД ПРИ НАРУШЕНИИ АКУСТИЧЕСКОГО КОНТАКТА

Аббакумов К.Е., Бритвин В.А.*, Коновалов Р.С., СПб ГЭТУ «ЛЭТИ», Санкт-Петербург,
*Nordinkraft, Череповец, Россия

В работах [1,2] на основе численно-теоретического анализа решена задача о распространении волн Стоунли вблизи границы раздела твердых сред при нарушении акустического контакта. Представляет интерес дальнейшее исследование свойств приповерхностных и поверхностных волн на границах раздела твердых сред при нежесткой связи.

Исследование граничных волн обусловлено широким полем технических приложений результатов исследований как в акустоэлектронике, так и в дефектоскопии. Однако к

настоящему времени большинство публикаций посвящено экспериментальным и теоретическим исследованиям данных волн в случае так называемой склейки (жесткого контакта), либо скользящего соединения. Подобные варианты контактирования граничных сред являются не единственно возможными. Любое отступление от условий склейки или скользящего соединения приводит к нарушению передачи упругих компонент смещений и напряжений через границу раздела сред. Весьма актуальным является рассмотрение данного вопроса с теоретической точки зрения, поскольку явление нарушенного акустического контакта (нежесткой связи) – частое явление на практике.

В настоящем докладе рассматривается модель нежесткого соединения в виде вертикальной трещины в полубесконечном пространстве, по поверхности которого распространяется волна Рэлея. Численно-теоретические расчеты показывают, что подобная модель значительно лучше удовлетворяет экспериментальным данным, нежели модель скользящего соединения или склейки, поскольку учитывается возможность передачи компонент напряжений. Приводятся коэффициенты отражения и прохождения рэлеевской волны для трещины глубиной h .

Полученные результаты могут использоваться при анализе и моделировании работы устройств обнаружения пограничных неоднородностей на рэлеевских волнах, а также для оценки затухания таких волн при рассеянии на единичных локализованных поверхностных дефектах.

Литература

1. Аббакумов К.Е., Кириков А.В., Львов Р.Н. Преломление упругих волн на плоской границе раздела с нарушенной адгезией твердых сред // Изд. СПб ГЭТУ «ЛЭТИ». 2003. № 1. С. 10–16.
2. Аббакумов К.Е., Коновалов Р.С. Распространение акустических волн Стоунли в области границы твердых полупространств при нарушенном акустическом контакте // Изд. СПб ГЭТУ «ЛЭТИ». 2007. № 1. С. 3–7.

С.22. АППАРАТУРА ДЛЯ ЭКСПРЕСС-ИЗМЕРЕНИЯ СКОРОСТЕЙ УЛЬТРАЗВУКОВЫХ ВОЛН В ТВЕРДЫХ СРЕДАХ

Перегудов А.Н., Шевелько М.М., Попкова Е.С.,
СПбГЭТУ «ЛЭТИ», Санкт-Петербург, Россия

Высокая информативность ультразвуковых методов в исследовании свойств материалов широко известна. Особенно часто используется контроль скорости ультразвуковых волн. На кафедре электроакустики и ультразвуковой техники Санкт-Петербургского электротехнического университета «ЛЭТИ» уже длительное время ведется разработка аппаратуры для измерения скоростей ультразвука в твердых средах. Совершенствование аппаратуры идет по двум основным направлениям: применение современных средств электроники для обеспечения точности, простоты и оперативности получения результатов измерения, а в ряде случаев и совершенствования методики измерений, а также использование новых подходов при реализации акустических систем измерительных приборов.

Возможности совершенствования электронной части аппаратуры для измерений скорости ультразвука опираются прежде всего на достижения в области цифровой и микропроцессорной техники. В разработанном устройстве УЗИС-ГЭТУ отсчетное устройство реализовано электронным способом, а не на основе микрометрического винта. Отсутствие эталонной жидкостной линии делает результат независимым от ее параметров. Погреш-

ности отсчета при этом определяются точностными характеристиками частотомера. Кроме того, в приборе впервые использована акустическая система нового типа, в которой нет необходимости смены датчиков при изменении типа используемых волн.

Прошедший через акустическую систему сигнал сравнивается с помощью двухканального осциллографа со стробом, вырабатываемым электронным блоком прибора.

С помощью дискретной перестройки времени задержки строба и плавной регулировки частоты формирования строба, на экране осциллографа достигают совмещения строба с одной из полуволн принятого из акустической системы сигнала.

В приборе УЗИС-ГЭТУ реализуется импульсный метод с привязкой времени отсчета к фазе принятого сигнала. Для экспресс-контроля параметров твердых сред зачастую не требуется очень высокая точность. В этом случае возможно применение чисто импульсных методов измерения. Возможностей современных микропроцессоров со встроенными таймерами достаточно для отсчета временных интервалов с очень малой погрешностью. На такой основе был разработан прибор для контроля характеристик горных пород [3].

Однако информативность ультразвуковых методов тем выше, чем выше точность измерений скорости ультразвука. В этом случае предпочтительнее использовать импульсно-фазовые методы контроля. Требования к формируемому электронным блоком сигналам при этом значительно возрастают [1]. Особенно важны возможности формирования квазигармонической последовательности парных импульсов, возможность относительной регулировки их амплитуды, стабильность и контролируемость изменяемой частоты заполнения парных импульсов. Современные достижения электронной техники позволяют успешно решать эти задачи. Аппаратура, реализующая все необходимые для импульсно-фазовых измерений функции, разработана и изготавливается. Важным элементом, позволившим решить задачу, явилось наличие микросхем прямого цифрового синтеза сигнала (DDS). Высокая точность установки частоты позволяет обходиться без внешнего частотомера. Микросхема содержит блоки цифровой модуляции сигнала, что обеспечивает необходимую регулировку амплитуд парных импульсов при минимальных фазовых искажениях. Цифровое управление позволяет, используя управляющий микропроцессор, добиться максимальной автоматизации процесса измерений и сопрягать аппаратуру с персональным компьютером.

Ультразвуковые исследования зачастую преследуют цель не только определения абсолютных значений скоростей, но и связи этих скоростей с внешними условиями. В этом случае принципиально важна необходимость обеспечения одинаковых условий как для продольных, так и для поперечных волн. Использование различных акустических систем препятствует этому – при смене системы невозможно точное воспроизведение условий, при параллельном использовании двух систем возбуждения контролируются разные участки образца. В настоящее время создан ряд образцов преобразователей и акустических систем, решающих задачу одновременного возбуждения продольных и поперечных волн при изменениях в твердых средах.

Принцип работы двухмодовых преобразователей основывается на выборе среза активного материала пьезопреобразователя, в котором приложенное поле способно вызывать как продольную, так и поперечную деформацию. Эффективность работы пластинчатого преобразователя при этом будет зависеть от резонанса, возникающего в системе, а значит от частоты приложенного электрического сигнала. Расчет и выбор оптимальных элементов (материалов и толщин) зависит от конструкции акустической системы. Наиболее простая ситуация имеет место, когда пьезопластина повернутого среза работает через переходный слой на твердое тело. Расчет такой системы при использовании в качестве пьезоактивного материала ниобата лития приведена в [4]. Несколько сложнее оптимиза-

ции демпфированного преобразователя из керамики для экспресс-контроля скорости ультразвука в твердых телах [2].

Решена также и задача разработки отдельного выносного датчика, совместимого со стандартными приборами типа дефектоскопа-толщиномера. Требования к форме формируемого импульса в этом случае достаточно высоки. Конструкция преобразователя в данном случае должна быть близка к обычному дефектоскопическому щупу. Такой преобразователь был рассчитан и изготовлен [5]. В качестве материала пьезопластины была выбрана пьезокерамика среза $Z + 60^\circ$. Защитный слой изготовлен из стекла. Для использования в расчетах реальных характеристик используемых материалов были выполнены измерения скорости и плотности образцов стекла, а также плотности резонансных частот пьезокерамических пластин после вырезки. Подбирая толщину полуволнового резонанса под стандартные частоты, можно получить требуемые толщины. По продольным и поперечным волнам результат практически совпадает. Однако при выборе конкретных толщин надо учесть возможность сдвига резонансов за счет влияния акустической нагрузки пьезопластины. Кроме того, соотношения волновых размеров пластины и защитного слоя для двух типов волн несколько отличались. Это потребовало провести уточненные расчеты для выбора оптимальных толщин элементов конструкции. Параметры преобразователя оптимизировались по форме импульса. Разработанный преобразователь был изготовлен и показал соответствие реальных характеристик и характеристик, полученных расчетным путем.

Таким образом, потребителю может быть предложен ряд приборов для исследования твердых тел по результатам измерения скорости ультразвуковых волн.

Литература

1. Шевелько М.М., Яковлев Л.А. Акустический измеритель скорости в твердых телах АИСТТ-1 // Акуст. журнал. 1989. № 6. С. 89–90.
2. Шевелько М.М., Перегудов А.Н., Яковлев Л.А., Ковалевский М.В. Измеритель скорости ультразвука повышенной точности УЗИС-ГЭТУ // Труды Нижегородской акустической сессии. Нижний Новгород: ТАЛАН, 2002. С. 297–299.
3. Пат. 2284413 РФ. Устройство для определения характеристик горных пород // Бюл. № 27. 27.09.2006.
4. Яковлев Л.А., Работы кафедры ЭУТ в области высокочастотных пластинчатых преобразователей // Известия ГЭТУ. Вып. 505. 1997.
5. Пат. 2269840 РФ. Электроакустический преобразователь // Бюл. № 4. 10.02.2006.

С.23. МОДЕЛИРОВАНИЕ ВОЛНОВЫХ ПРОЦЕССОВ В КАСКАДНОМ УЛЬТРАЗВУКОВОМ ВОЛНОВОДЕ

Новик А.А., СПбГЭТУ «ЛЭТИ», Санкт-Петербург, Россия

Каскадные многоволновые (содержащие N полуволновых участков) волноводы находят применение в многочисленных ультразвуковых технологиях, в частности создаваемая ими высокоинтенсивная кавитация, охватывающая много более значительные объемы, чем классические излучатели, применяемые для этих целей, дает возможность использовать их в ультразвуковых диспергаторах и сонохимических реакторах, в установках экспресс-анализа содержания примесей в водных средах, в том числе в целях лабораторных исследований и контроля.

Для выбора оптимальной конструкции, соответствующей решаемой задаче обеспечения необходимой частоты и моды ультразвуковых колебаний волновода, а также для достижения максимума преобразования подводимой энергии в кавитацию необходим предва-

рительный расчет параметров волновода, важнейшим из которых является собственная частота. При конструировании волноводного звена следует выбрать его геометрию таким образом, чтобы, во-первых, выбранная форма имела продольную моду колебаний как таковую – в случае, когда поперечные размеры волновода меньше полудлины волны в материале, это условие можно считать выполненным, в данной работе рассматриваются только такие конструкции. А, во-вторых, чтобы частота механического резонанса звена находилась в диапазоне частот резонанса в системе генератор – электроакустический преобразователь.

Сложность расчета собственной частоты составного каскадного волновода заключается в том, что используемые на практике конструкции (рис. 1) чаще всего представляют собой соединение цилиндрических участков разного диаметра с галтельными переходами – выгнутым и/или вогнутым, аппроксимировать которые необходимо другими функциями, нежели классически рассматриваемые для ультразвуковых волноводов законы изменения сечения: цилиндрический, конический, экспоненциальный и катеноидальный. Кроме того, волновод-излучатель для создания кавитации в жидкости может быть снабжен акустическими линзами, описать которые математической функцией как закон изменения диаметра (или площади) невозможно. Поэтому предлагается моделировать указанные переходы между участками каскадного волновода неклассическими функциями: полиномом $(ax + b)^n$ и функцией $\sin^2(ax + b)$.

Была сформулирована математическая модель для описания резонансных свойств составного волновода, изучено влияние переходов различной формы на резонансные свойства. Основой для построения математической модели составных каскадных волноводов является матричный метод расчета ультразвуковых составных инструментов, также было осуществлено моделирование каскадного волновода по методу конечных элементов (МКЭ) и проведено экспериментальное исследование резонансных свойств используемого на практике волноводного инструмента.

Результаты представлены в виде зависимостей первых четырех резонансных частот каскадного волновода для случая свободных колебаний и для случая консольного закрепления от длины переходного участка той или иной формы для двух видов материалов: стали и титана. Также приводится зависимость волновых длин участков каскадного волновода, обеспечивающих формирование основной продольной моды конструкции. На рис. 2 для примера приведена зависимость первой собственной частоты каскадного волновода от длины перехода, который описывается полиномиальной функцией.

С использованием МКЭ, который был принят за эталонный способ расчета, были произведены расчеты тех же конструкций, что позволило определить границы применимости полученной математической модели.

На основе созданной математической модели была рассчитана собственная частота используемой в промышленности конструкции каскадного волновода. Согласно модели все переходы между цилиндрическими участками разного диаметра были представлены

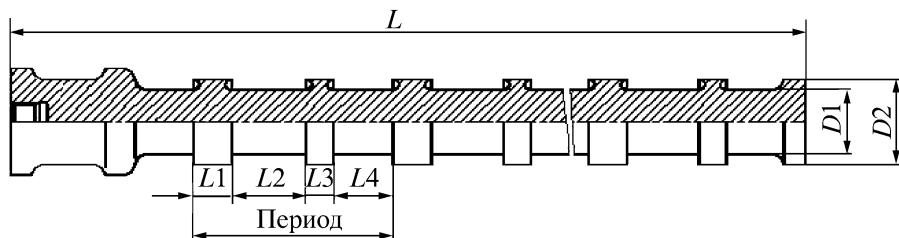


Рис. 1. Конструкция каскадного волновода

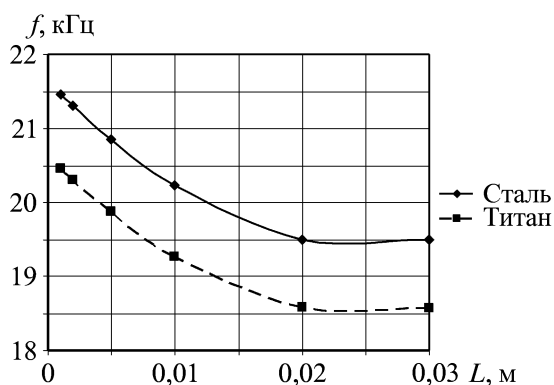


Рис. 2. Зависимость значения первой собственной частоты от длины полиномиального перехода

в виде полиномиальной или синусной функции в четырех вариантах: все переходы полиномиальные (П-П); все переходы синусные (С-С); расширяющиеся переходы синусные, сужающиеся полиномиальные (С-П); расширяющиеся переходы полиномиальные, сужающиеся синусные (П-С). Результаты расчетов по различным моделям, по МКЭ и экспериментальный результат представлены в таблице.

Сравнительные результаты расчетов

Способ получения	Первая собственная частота, Гц
Мат. модель П-П	21 590
Мат. модель С-С	21 760
Мат. модель С-П	21 720
Мат. модель П-С	21 330
МКЭ	20 450
Эксперимент	21 300

Как видно из таблицы, наиболее близка к экспериментально определенной собственной частота, рассчитанная по модели с цилиндрами разного диаметра, между которыми расширяющиеся переходы – полиномиальные, а сужающиеся – синусные (П-С). Данную модель можно использовать для весьма точного прогнозирования собственной частоты составных волноводных конструкций, подобных изображенной на рис. 1.

С.24. БЫСТРОЕ ПРЕОБРАЗОВАНИЕ ФУРЬЕ НА БАЗЕ МАТЕМАТИЧЕСКОГО АППАРАТА НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ, СОВМЕЩЕННОЕ С ФИЛЬТРАЦИЕЙ, КАК ЧАСТЬ АЛГОРИТМА РЕКОНСТРУКЦИИ МРТ-ИЗОБРАЖЕНИЙ

Коршаков А.В., Московский государственный университет приборостроения и информатики (МГУПИ), Москва, Россия

Преобразование Фурье является ключевым алгоритмом в любой системе формирования изображения в любом МР-томографе, начиная с 1975 г., когда Ричард Эрнст (Швейцария) предложил использовать в МР-томографии фазовое и частотное кодирование. Различные типы алгоритмов Фурье-преобразования и метод «декодирования» изображений используются в МРТ (магнитно-резонансная томография) и в настоящее время. Существует множество стратегий в построении последовательностей и алгоритмов базового преоб-

разования Фурье (БПФ). Как правило, они основаны на способе разбиения входного вектора на подвекторы. Недостатком таких алгоритмов является необходимость четности числа элементов вектора входных данных. Кроме того, сами сигналы, естественно, не лишены шумов, которые в случае изношенного или неисправного оборудования могут принимать существенные масштабы. В данной работе рассматривается система алгоритмов реконструкции МР-изображений, применение которой в указанных случаях позволяет продлить срок службы аппаратуры.

Основные результаты. При синтезе алгоритма БПФ в данной работе за основу взята схема синтеза последовательности алгоритмов БПФ «с прореживанием по частоте». Граф элементарной операции рассматриваемого преобразования может быть сведен к структурной схеме искусственной нейронной сети прямого распространения сигнала. В этом случае можно сопоставить каждой базовой операции вершину графа, а дугам – операторы связи между базовыми операциями. В контексте нейронных сетей базовой операции соответствует группа нейронов. Такая группа представляет однослойный персептрон малой размерности [1], для которого значение размерности элементарного преобразования определяет размерность входного рецептивного поля и число нейронов в сети. Структура алгоритма, представленного таким образом, задается размером рецепторного поля, т.е. размерностью входного сигнального вектора, числом нейронов и структурой межнейронных связей. Недостаток нечетности поступающего сигнала, который возникает при желании повысить разрешение при фиксированном количестве отчетов аппаратуры, приводящий к нежелательным искажениям изображения после преобразования [2], купируется применением входного распределительного слоя нейронной сети, а также несколькими дополнительными входными слоями «сети обратного распространения», аппроксимирующими функцию сигнала в недостающих отчетах. Кроме того, рассматриваемая нейронная сеть, благодаря фильтрующему слою, снижает влияние зашумленности ЯМР-сигнала и его искажения приемной аппаратурой на качество реконструкции изображений, так как отфильтровывает нежелательные элементы последовательностей входных сигналов, которые после проведения преобразования восстановления могли бы быть родоначальниками искажения изображения. Вся система, таким образом, от регистрации сигнала до получения изображения представляет собой гетерогенный нейросетевой систолический сигнальный процессор. В программной реализации предусмотрен режим обучения, в котором фильтр учится идентифицировать новые типы шумов. Это достигается за счет способности нейронных сетей к обучению.

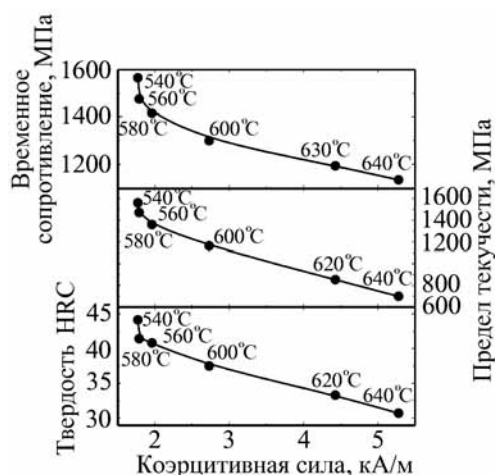
Обсуждение результатов. Благодаря применению описанного в статье систолического процессора, способного к гибкой настройке и обучению, в процессе работы над программным обеспечением, его настройки, обучения системы нейронных сетей, составляющих программный комплекс, а также эксплуатации в тестовом режиме удалось купировать в достаточной для целей медицинской диагностики степени артефакты дрожания и РД-шума магнитно-резонансного изображения, связанные с неустранимой неисправностью основного магнита и регистрирующей системы (несовершенством экранирующей системы). Таким образом, показана возможность дальнейшей эксплуатации и использования устаревшего оборудования и оборудования с неисправностями, т.е. оборудования, формально выработавшего свой ресурс, что, естественно, снижает амортизационные расходы.

Литература

1. Головкин В.А. Нейронные сети: обучение, организация и применение. М.: ИПРЖР, 2001. 256 с. (Нейрокомпьютеры и их применение).
2. Бейтс Р., Мак-Доннел М. Восстановление и реконструкция изображений: пер. с англ. М.: Мир, 1989. 336., ил.

С.25. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МАГНИТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК БЕСКОБАЛЬТОВЫХ МАРТЕНСИТНО-СТАРЕЮЩИХ СТАЛЕЙ ДЛЯ КОНТРОЛЯ ИХ ФАЗОВОГО СОСТАВА И МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ

Горкунов Э.С., Задворкин С.М., Митропольская С.Ю., Осинцева А.Л., Вичужанин Д.И.,
Гладковский С.В., *Институт машиноведения УрО РАН, Екатеринбург, Россия*



Мартенситно-стареющие стали на основе системы Fe–Cr–Ni–Mo используют для изготовления особо ответственных изделий, которые в течение длительного срока службы должны сохранять заданное сочетание прочности и вязкости разрушения. Аттестация состояния таких изделий перед началом эксплуатации, а также в процессе длительной наработки представляет важную научно-техническую задачу на стыке металловедения, физики магнитных явлений, механики разрушения и приборостроения.

В работе изучены факторы, влияющие на магнитные характеристики бескобальтовой мартенситно-стареющей стали ЭП-678 в условиях термических и силовых воздействий.

Установлено, в частности, что протекание обратного $\alpha \rightarrow \gamma$ -превращения при термообработке и деформационного $\gamma \rightarrow \alpha$ приводит к резкому изменению коэрцитивной силы, что создает основу для контроля механических свойств стали магнитным методом. На рисунке приведены корреляционные зависимости между коэрцитивной силой стали, термообработанной по различным режимам, и ее механическими характеристиками (цифрами возле точек указана температура старения).

Рассмотрены особенности деформационного поведения магнитных характеристик, обусловленные состоянием материала после термической обработки. Показано, что оценку механических свойств и количества аустенита в изделиях из стали ЭП678, подвергаемых растяжению, кручению или циклическим нагрузкам можно проводить с использованием неразрушающих магнитных методов.

С.26. ПРИМЕНЕНИЕ ЧЕТЫРЕХПОЛЮСНОГО ПЕРВИЧНОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ ДЛЯ ОЦЕНКИ НАПРЯЖЕНИЙ В СТАЛЯХ ПО АНИЗОТРОПИИ ИХ МАГНИТНЫХ СВОЙСТВ

Горкунов Э.С., Поволоцкая А.М., Вичужанин Д.И., Задворкин С.М.,
Институт машиноведения УрО РАН, Екатеринбург, Россия

Разработка методов оценки действующих напряжений в стальных изделиях является одной из актуальных задач. При решении таких задач с помощью магнитных методов возникает ряд вопросов, связанных, в частности, с влиянием анизотропии действующих напряжений на магнитные характеристики металла. Известно, что упругие растягивающие напряжения в материалах с положительной магнитострикцией приводят к возникновению магнитной текстуры типа оси легкого намагничивания вдоль направления растяжения (положительный магнитоупругий эффект), что вызывает уменьшение коэрцитивной силы

материала, измеренной в данном направлении. При сжатии таких материалов возникает магнитная текстура типа легкая плоскость, и материал легче перемагничивается в направлении, перпендикулярном сжатию (отрицательный магнитоупругий эффект). Поскольку при одноосном растяжении материала в поперечных направлениях действуют напряжения сжатия, очевидно, что, измеряя магнитные характеристики в двух взаимно-перпендикулярных направлениях, можно получить более точную информацию о действующих на материал нагрузках. Особенно это важно в тех случаях, когда направление растягивающей нагрузки заранее неизвестно.

Наряду с однородными материалами на практике довольно часто возникает необходимость оценки напряженного состояния неоднородных (например, поверхностно упрочненных) материалов, составляющие которых имеют существенные различия по механическим и магнитным свойствам.

В данной работе с помощью четырехполюсного первичного преобразователя проведены исследования коэрцитивной силы одно- и двуслойных образцов из стали СтЗсп и стали 45 с различной термообработкой в зависимости от степени деформации вдоль и перпендикулярно направлению растягивающей нагрузки.

Четырехполюсный преобразователь представляет собой крестообразную конструкцию из армо-железа и позволяет одновременно измерять магнитные характеристики в двух взаимно-перпендикулярных направлениях.

Установлено, что при упругой деформации образцов их коэрцитивная сила, измеренная в направлении, перпендикулярном растяжению, в отличие от этой характеристики, измеренной вдоль направления растяжения, изменяется монотонно и более существенно.

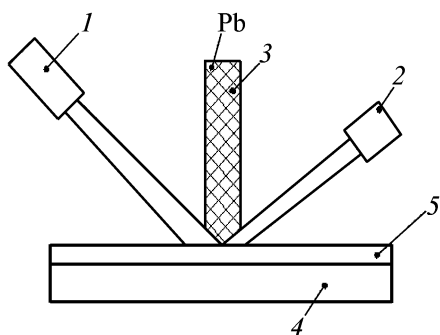
Показано, что при оценке напряженного состояния двуслойных изделий, составляющие которых имеют существенные различия по механическим и магнитным свойствам, измерения с помощью рассмотренного приставного электромагнита необходимо проводить со стороны магнитотвердой компоненты, так как в этом случае магнитный поток не локализуется в прилегающей к датчику компоненте, а захватывает и магнитомягкую часть составного образца. Это дает возможность получать информацию о каждой его составляющей.

С.27. ИЗМЕРЕНИЕ ТОЛЩИНЫ СВЕРХТОНКИХ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ПЛЕНОК ПРИ ПОМОЩИ ИОНИЗИРУЮЩИХ ИЗЛУЧЕНИЙ

Артемьев Б.В., Маслов А.И., ЗАО «МНПО «Спектр», Москва, Россия

В промышленности широко применяются технологические процессы напыления тонких металлических (Au, Pt и др.) пленок на массивную и неоднородную по внутренней структуре, чаще всего керамическую (Si, C, Al и др.) основу (подложку), например при изготовлении микросхем, катализаторов, кварцевых резонаторов. Процесс напыления плохо поддается количественному контролю со стороны источника напыления, поэтому для отработки новых технологий необходимо проводить замеры толщины напыления в процессе работы. Наличие высокого разряда в камере напыления только повышает точность измерения. В работе рассмотрен и смоделирован диапазон толщин пленок от 0,01 до 0,3 мкм.

Для решения этой задачи невозможно применить традиционный для рентгеновской толщинометрии способ измерения по прямому методу, так как погрешность, вносимая в измерение неоднородностью подложки, намного превышает сигнал приращения толщины напыляемой пленки, поэтому была использована принципиально другая технология измерения – измерение толщины по обратному рассеянию излучения (Комптоновский эффект). Геометрия эксперимента приведена на рисунке.



Геометрия эксперимента:

1 – источник; 2 – детектор; 3 – свинцовый экран;
4 – подложка; 5 – напыленная пленка

В работе показана зависимость отношения сигнал/шум $k_0(U)$ от анодного напряжения рентгеновской трубки (U_a) для различных толщин покрытия. Для всех толщин в диапазоне от 0,1 до 0,3 мкм оптимальным является диапазон анодных напряжений 25...40 кВ. Для уточнения значения анодного напряжения и оптимизации ресурсов рентгеновского источника желательно минимизировать энергию единичного измерения (Q):

$$Q = I_a U_a t_{\text{изм}},$$

где I_a – анодный ток рентгеновской трубки; U_a – напряжение на аноде рентгеновской трубки; $t_{\text{изм}}$ – время одного измерения.

С.28. АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ УЛЬТРАЗВУКОВАЯ СИСТЕМА ДИАГНОСТИКИ КОЛЕСНЫХ ПАР ПАССАЖИРСКИХ ВАГОНОВ

Вопилкин А.Х., Кононов Д.А., Тихонов Д.С., НПП «ЭХО+», Москва, Россия

В докладе описывается технология ультразвуковой диагностики элементов колесных пар вагонов в условиях пассажирских вагонных депо ОАО «РЖД» с использованием системы диагностики колесной пары пассажирского вагона с визуализацией дефекта.

Показана возможность диагностики колесных пар пассажирских вагонов, в том числе оборудованных редукторами привода генератора от торца шейки и средней части и торцовыми дисками при различных состояниях колесной пары:

- с демонтированными внутренними кольцами подшипников;
- без демонтажа внутренних колец подшипников;
- без демонтажа буксового узла.

Приведены типы выявляемых дефектов элементов колесных пар и методология ультразвукового контроля, обеспечивающего их выявление.

Сформулированы отличительные особенности схемы контроля, реализованной в системе диагностики колесной пары пассажирского вагона, по сравнению со схемами контроля других средств ультразвукового неразрушающего контроля, применяемых в пассажирских вагонных депо в настоящее время.

Приведены требования к подготовке колесных пар вагонов к контролю, являющиеся менее жесткими, чем требования для подготовки к контролю другими средствами ультразвукового неразрушающего контроля.

Показаны новые технические решения, реализованные при разработке системы диагностики колесной пары пассажирского вагона, позволяющие на более высоком уровне реализовать:

- повышение достоверности неразрушающего контроля;
- повышение производительности проведения неразрушающего контроля;
- уменьшение влияния на результаты НК человеческого фактора;
- уменьшение объема неразрушающего контроля при проведении освидетельствования КП;
- улучшение условий труда персонала, проводящего диагностику;
- увеличение межремонтных пробегов;
- осуществление постепенного перехода от действующей планово-предупредительной системы технического обслуживания и ремонта вагонов к системе ремонта по фактическому состоянию с целью сокращения отказов в эксплуатации, обеспечения высокого коэффициента эксплуатационной готовности, значительного повышения производительности труда.

С.29. СИСТЕМА КАЛИБРОВКИ УЛЬТРАЗВУКОВЫХ ПЬЕЗОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ «АВГУР 5.4»

Базулин А.Е., Базулин Е.Г., Вopilкин А.Х., Тихонов Д.С.,
ООО «НПЦ «ЭХО+», Москва, Россия

Разработанная в НПЦ «ЭХО+» система калибровки ультразвуковых пьезоэлектрических преобразователей «АВГУР 5.4» предназначена для определения основных параметров и характеристик ультразвуковых пьезоэлектрических контактных и иммерсионных, прямых и наклонных, совмещенных и раздельно-совмещенных, фокусирующих и нефокусирующих преобразователей (ПЭП) с частотами от 0,8 до 10 МГц. Система определяет параметры и характеристики ПЭП, регламентированные ГОСТ 23702–90 и EN 12668–2 с использованием методов, приведенных в этих нормативных документах, а также методов, основанных на расчете поля ПЭП по многочастотным голограммам.

При использовании одного компактного образца, имеющего полусферическую форму (трехмерный аналог образца СО-3), появляется возможность определить помимо параметров эхоимпульсной характеристики также и диаграмму направленности в любой плоскости (трехмерную диаграмму направленности), стрелы в двух плоскостях и другие параметры ПЭП.

Основные отличия системы «АВГУР 5.4» от ранее разработанной системы калибровки «АВГУР 4.4»:

- введено двумерное сканирование, позволяющее расширить перечень определяемых параметров;
- обоснована методика калибровки на полусферическом (получилиндрическом) образце;
- введена возможность калибровки иммерсионных ПЭП;
- добавлены настраиваемые демпфирующие сопротивления приемного тракта;
- упрощена автоматизированная паспортизация ПЭП и долговременное хранение паспортов за счет наличия базы данных;
- система изготовлена на современной электронной базе и может быть подключена к любому персональному компьютеру по интерфейсу USB 2.0.

Перечень параметров и характеристик, определяемых системой «АВГУР 5.4», содержит наименования в соответствии с ГОСТ 23702–90.

1. Форма эхоимпульса (эхоимпульс, импульсная характеристика).
2. Длительность эхоимпульса.
3. Амплитудно-частотная характеристика (спектральная характеристика).
4. Частота максимума преобразования (центральная частота).

5. Полоса пропускания (полоса частот), относительная полоса частот.
6. Эхоимпульсная чувствительность.
7. АРД-диаграмма.
8. Функция шумов (ревеберационно-шумовая характеристика).
9. Точка ввода (стрела).
10. Время распространения (задержки) в призме (акустической задержке).
11. Диаграмма направленности в основной плоскости (угол ввода, ширина диаграммы направленности).
12. Диаграмма направленности в дополнительной плоскости (угол ввода, ширина диаграммы направленности).
13. Величина ближней зоны.
14. Фокусное расстояние.
15. Протяженность фокальной области (длина фокуса, ширина фокуса в основной и дополнительной плоскости).
16. Подавление помех излучатель – приемник (для раздельно-совмещенных ПЭП)*.
17. Эффективные размеры пьезоэлемента*.

* Обозначение дано в соответствии с EN 12668–2.

Система прошла испытания типа средств измерений и внесена в Государственный реестр средств измерений. Система также может использоваться как одноканальный дефектоскоп с трехмерной когерентной обработкой данных при комплектации соответствующим программным обеспечением.

Литература

1. **ГОСТ 23702–90.** Преобразователи ультразвуковые. Методы испытаний.
2. **EN 12668–2:2001.** Неразрушающий контроль. Характеристика и проверка ультразвукового оборудования. Часть 2. Преобразователи.
3. **Неразрушающий контроль:** справ.: в 8 т. / под общ. ред. В.В. Клюева. Т.3: Ультразвуковой контроль / И.Н. Ермолов, Ю.В. Ланге. 2-е изд., испр. М.: Машиностроение, 2006. 864 с.

С.30. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ФАЗИРОВАННЫХ РЕШЕТОК ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ СКОРОСТИ РАСПРОСТРАНЕНИЯ УЛЬТРАЗВУКОВЫХ КОЛЕБАНИЙ В ОБЪЕКТЕ КОНТРОЛЯ

Бишко А.В., ООО «Акустические Контрольные Системы», Москва, Россия

При томографии бетонных объектов контроля с помощью фазированных антенных решеток (ФАР) важно бывает знать точное значение скорости распространения УЗ-колебаний. В ультразвуковом томографе для контроля бетона А1040М «Полигон» используются объемные поперечные волны и обработка сигналов с помощью алгоритма САФТ. При этом, в получаемых необработанных исходных реализациях присутствуют как эхосигналы, пришедшие из тела конструкции, так и поперечные волны, прошедшие напрямую от излучателя к приемнику по поверхности объекта контроля.

В докладе рассматривается способ измерения скорости поперечных волн, прошедших вдоль поверхности, регистрируемых для различных баз элементов антенной решетки, основанный на вычислении взаимно-корреляционной функции ВКФ между несколькими реализациями. Приведено описание алгоритма измерения скорости и практические результаты его применения. Предложенные решения обеспечили стабильное и достоверное измерение скорости УЗ-волн с относительной погрешностью не более 1 %.

Данный алгоритм реализован и используется в серийных выпускаемых изделиях.

С.31. АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ КОМПЛЕКС «РОБОСКОП»

Сырбу В.Н., Пырву С.И., Сляднев А.М., ООО «Вотум», Москва, Россия

Одна из основных закономерностей развития техники на современном этапе заключается в том, что автоматизация проникает во все отрасли промышленности, во все звенья производственного процесса, вызывая в них качественные изменения, раскрывая невиданные ранее возможности роста производительности труда, повышение качества и увеличение выпуска продукции, облегчение условий труда. В настоящее время робототехнические комплексы прочно вошли в разряд самых передовых средств автоматизации труда. Идет постоянное расширение сферы их применения. Это автоматизированные процессы (например, конвейеры) во всех отраслях промышленности: авиационной, металлургической, станкостроительной, и т.д., т.е. любые рутинные, повторяющиеся операции, требующие проведения НК. В этом отношении область неразрушающего контроля не является исключением. Массовое производство роботов-манипуляторов создало все предпосылки для разработки на их основе специальных робототехнических комплексов неразрушающего контроля. По своим функциональным возможностям данные комплексы способны заменить широкое разнообразие узкоспециализированных систем сканирования, обеспечивая при этом высокую производительность и качество контроля. В зависимости от типа геометрии детали предусмотрена установка систем с использованием различной масштабируемости «выноса руки» манипулятора. Предусматривается режим применения как одной установки, так и нескольких одновременно, когда для систем, имеющих сложную геометрию, предусматривается так называемая тандемная схема использования, когда один манипулятор подает деталь и удерживает, а другой выполняет только функции контроля.

Роботизированная установка «Робоскоп» предназначена для осуществления вихретокового неразрушающего контроля широкого спектра деталей с расширенными возможностями быстрой перенастройки и адаптации к объектам различных форм и типоразмеров. Главным элементом системы сканирования в данном комплексе является перепрограммируемый многофункциональный робот-манипулятор (рис. 1). Посредством разнообразных программируемых движений он выполняет функции координатного перемещения, ориентации и точного позиционирования датчика относительно объекта контроля, требуемые для решения конкретной задачи неразрушающего контроля.

Помимо робота-манипулятора комплекс содержит также:

- координатный стол;
- устройство фиксации объекта контроля на координатном столе;
- персональный компьютер;
- электронный блок генерации, приема и обработки сигналов вихретокового контроля;
- набор вихретоковых преобразователей;
- узел стыковки/расстыковки вихретокового преобразователя к манипулятору.

Взаимосвязи между персональным компьютером, блоком обработки сигналов и роботом-манипулятором приведены на рис. 2.

Персональный компьютер является связующим звеном между электронным блоком вихретокового контроля и контроллером



Рис. 1

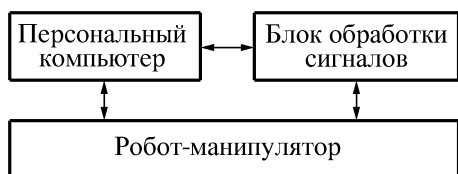


Рис. 2

Персональный компьютер выполняет следующие функции:

- управление манипулятором, привязки объекта контроля к системе координат манипулятора, задание и отображение траектории сканирования, определение координат очередной точки контроля и траекторию движения до нее, цветная отметка результата контроля в текущей точке контроля на экране (красный – дефект, зеленый – норма);
- предоставление удобного графического интерфейса на ПК для управления параметрами электронного блока вихретокового контроля, настройка и управление электронным блоком, прием результатов контроля в реальном режиме времени, представление результатов контроля в виде комплексной плоскости и в виде неподвижного или движущегося В-скана, сохранение настроек и результатов контроля на жесткий диск.

Электронный блок вихретокового контроля обеспечивает:

- настройку аппаратуры вихретокового тракта по данным, принятым с программы на ПК;
- устойчивую работу при скорости сканирования объекта контроля – до 100 мм/с;
- прием команд управления и передачу данных контроля на ПК.

В целом комплекс «Робоскоп» обеспечивает:

- установку подлежащей контролю детали на координатном столе в заданной позиции;
- стыковку и расстыковку необходимого вихретокового преобразователя;
- осуществление контроля установленной на столе детали путем сканирования поверхности детали по заданной программе;
- анализ получаемого сигнала с вихретокового преобразователя (ВТП) амплитудно-фазовым методом;
- вывод на экран прибора в графическом виде текущих координат ВТП и результатов обработки сигнала от исследуемого объекта контроля;
- включение автоматической сигнализации дефекта при превышении устанавливаемого порога (задаваемого стробами);
- оценку наличия дефектов в объекте контроля по определенным, заранее заданным критериям;
- запись результатов контроля в архив.

Применение комплекса «Робоскоп» позволит уменьшить роль человеческого фактора, степень ручного контроля или отказаться от него вообще в поточно-серийном производстве. Преимущества применения этой технологии – экономия времени, высокая производительность, точность.

Даже наличие таких критериев, как стоимость системы, возможность ее работы в реальном режиме времени, надежность, мощность, сложность или, наоборот, простота проведения инсталляционных работ, сервисное обслуживание – все это зависит от конкретной постановки задач, особенностей технологических процессов и требований пользователей и заказчиков.

управления манипулятором. Принимая текущие координаты манипулятора и данные контроля с электронного блока, на компьютере отображается графическое представление состояния контроля в текущей точке объекта. Данные контроля архивируются на компьютере с возможностью вывода протоколов на печать.

С.32. К ВОПРОСУ О РАСПРОСТРАНЕНИИ АКУСТИЧЕСКИХ КОЛЕБАНИЙ В УГЛОВЫХ ОБЛАСТЯХ

Толипов Х.Б., Гуревич С. Ю.,
Южно-Уральский государственный университет, Челябинск, Россия

При проведении ультразвукового контроля возникают ситуации, когда необходимо знать характер движения волн в угловых областях контролируемого изделия, имеющих форму клина. Это касается случаев, например, когда изделия имеют дефекты в виде трещин, выходящих на поверхность, образуя угловую область, либо изделие в целом (или часть его) имеет клиновидную форму. До настоящего времени вопрос описания распространения волн в этих областях остается открытым. В данном сообщении рассматриваются особенности распространения рэлеевских волн по нормали к ребру клина при различных углах его раствора.

Можно выделить два механизма рассеяния волн на ребре клина при распространении рэлеевских волн в направлении его нормали.

1. При больших углах клина ($90^\circ < \alpha < 180^\circ$) волновые возмущения на наклонной плоскости, задаваемые падающей на ребро клина неоднородной волной, пространственная структура которой при падении остается неизменной, создают поле рассеянных волн. Неоднородность падающей волны приводит к появлению как поверхностных, так и объемных волн.

2. При малых углах клина ($0 < \alpha < 90^\circ$) к первому механизму, действующему на больших расстояниях от ребра, добавляется второй, связанный с интерференцией волн, возникающих при отражении.

В работах [1, 2] получено решение задачи определения параметров акустического поля на наклонной плоскости, расположенной под произвольным углом к поверхности, по которой распространяется рэлеевская волна.

На рис. 1 представлены расчетные (для образца из алюминия) зависимости модуля коэффициента прохождения рэлеевской волны от угла клина (точками представлены экспериментальные данные работы [3]). При углах $\alpha_0 < \alpha < 180^\circ$ структура прошедшей на вторую грань клина волны (наклонную плоскость) остается неизменной. При $\alpha < \alpha_0$ амплитуда поверхностной волны изменяется с углом клина, что обусловлено возникновением объемных волн, уносящих энергию в глубь среды.

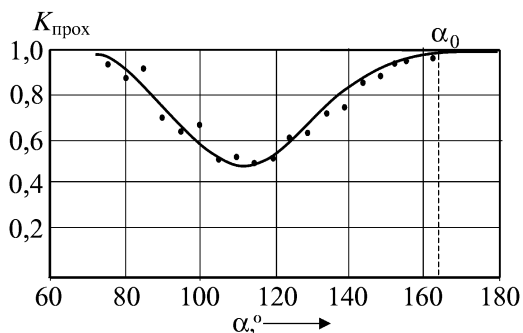


Рис. 1

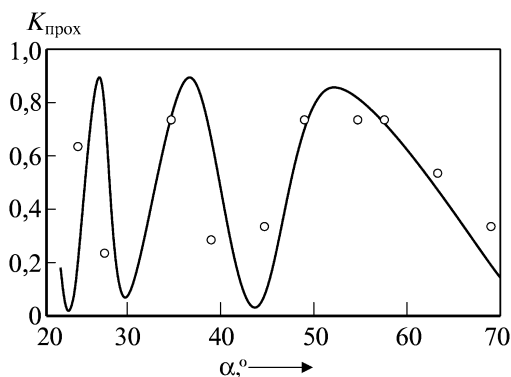


Рис. 2

При малых углах клина, следуя подходу, предложенному в [4], изменение амплитуд смещений волны можно объяснить интерференционными факторами. Согласно расчетам, приведенным в [5], вблизи окрестности ребра волновое поле имеет бимодальную структуру, а вдали – унимодальную. Перестройка бимодальной структуры происходит при определенном критическом расстоянии. Следовательно, в окрестности ребра акустическое поле можно представить в виде суммы плоских неоднородных волн – падающей и отраженной от ребра клина [6]. В дальней зоне установившаяся волновая картина имеет характер бегущих по разным граням клина рэлеевских волн, распространяющихся на бесконечность, тогда как в окрестности ребра волновая картина приобретает характер стоячих волн.

Формирование рэлеевской волны и распределение энергии между отраженными и прошедшими на вторую грань клина волнами Рэлея происходит в области перестройки бимодальной структуры. Возникающая разность фаз между антисимметричной и симметричной компонентами, изменяющаяся от угла клина, является причиной осцилляций коэффициентов отражения и прохождения.

Результаты численного моделирования зависимости модуля коэффициента прохождения рэлеевской волны для малых углов клина приведены на рис. 2 (экспериментальные точки из [3]).

Как показывает анализ полученных кривых, предложенная физическая модель, описывающая эволюцию амплитуд колебаний частиц в поверхностной волне при малых углах клина, соответствует наблюдаемой динамике движения волны. Отметим также, что представленная модель позволяет понять основные особенности дифракции волн на ребре клина при малых его углах.

Литература

1. Гуревич С.Ю., Толипов Х.Б. Особенности дифракции поверхностных волн на ребре клине // ПМТФ. 2003. №5 С. 161–168.
2. Бучельников В.Д., Гуревич С.Ю., Толипов Х.Б. Особенности рассеяния неоднородной волны на наклонной поверхности // Сб. тр. XVIII сессии Рос. акуст. об-ва. М., 2006. Т. 1. С. 171–173.
3. Викторов И.А. Физические основы применения ультразвуковых волн Рэлея и Лэмба в технике М.: Наука, 1966. 165с.
4. Крылов В.В., Можяев В.Г. Отражение и прохождение волн Рэлея в клине // Акустический журнал. 1985. Т 31. № 6. С. 751–755.
5. Толипов Х.Б. Двумерная задача распространения акустических колебаний в клине // ММ. 2003. Т. 15. № 10. С. 105–108.
6. Толипов Х.Б., Гуревич С.Ю., Геренштейн А.В. Распространение упругих волн в клине. Челябинск: Изд-во ЮурГУ, 2003. 122 с.

С.33. КОМПЛЕКСНАЯ ПЕРЕДВИЖНАЯ ЛАБОРАТОРИЯ ДЛЯ КОНТРОЛЯ ОБЪЕКТОВ ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКИ

Изотов А.В., Кольцов В.Н., ООО «Себа Спектрум», Москва, Россия

Энергоэффективность любой системы теплоснабжения зависит от таких факторов, как техническое состояние технологического оборудования, соблюдение оптимальных режимов ее эксплуатации, быстрое обнаружение и устранение возникших дефектов. Обычно работы по перечисленным позициям выполняют независимо друг от друга эксплуатационные службы трех основных звеньев технологической цепочки производства, передачи и потребления тепловой энергии: соответствующие службы тепловых станций, тепловых сетей и организаций, эксплуатирующих здания (ограждающие конструкции). При этом действия указанных служб зачастую не скоординированы, используемое контрольно-измерительное оборудование дублируется. Все это повышает затраты на эксплуатацию системы теплоснабжения и в конечном итоге может привести к перебоям в обеспечении населения тепловой энергией.

Предлагаемая передвижная лаборатория (в дальнейшем лаборатория) предназначена для оперативного контроля объектов теплоэнергетики на всем протяжении технологической цепочки от тепловой станции до потребителя тепловой энергии.

Лаборатория выполнена на шасси легкового автомобиля ВАЗ-2131 «Нива» с удлиненной базой, что позволяет перевозить бригаду из 4–5 человек и основной комплект контрольно-измерительных приборов. Возможно выполнение лаборатории на шасси УАЗ или «Газель». Это даст возможность оснастить лабораторию дополнительными контрольно-измерительными приборами, источником автономного электропитания, погружным насосом, шанцевым и слесарным инструментом, комплектом спецодежды.

Контрольно-измерительные приборы лаборатории функционально разбиты на три модуля:

- приборы для контроля оборудования тепловых станций;
- приборы для контроля теплопроводов;
- приборы для контроля ограждающих конструкций.

Приборы для контроля оборудования тепловых станций

Анализатор дымовых газов – гибкая портативная измерительная система для контроля параметров процесса сгорания топлива. Эта система позволяет производить настройку всех типов промышленных котлов, осуществлять измерение концентрации отходящих газов, контролировать условия работы промышленных горелок любого типа, измерять давление и скорость в воздуховодах и газопроводах.

Комплект приборов для анализа параметров котловой воды предназначен для измерения таких основных параметров, как активность ионов водорода (рН), содержание растворенного кислорода и органических примесей.

Дополнительно лаборатория может быть оснащена: приборами для определения содержания тяжелых металлов и их солей в котловой воде; пирометрами для бесконтактного измерения температуры в заданной точке; портативным калибратором датчиков давления, температуры и электрических датчиков непосредственно на местах.

Приборы для контроля теплопроводов

Трассопоисковая установка позволяет определять фактическое положение теплопровода в горизонтальной и вертикальной плоскостях, что необходимо для точного определения места утечки теплоносителя.

Акустический течейскаатель без вскрытия грунта с точностью «до ковша» находит место утечки теплоносителя.

Ультразвуковой расходомер с накладными датчиками обеспечивает измерение текущего и суммарного расхода теплоносителя в трубопроводе, при этом измерение осуществляется на трубопроводах любого диаметра без вмешательства в режим их работы. Прибор позволяет определить уровень подпитки в замкнутых системах теплоснабжения.

Дополнительно лаборатория может быть оснащена: корреляционным течейскаателем, обследующим протяженные участки теплопроводов за один цикл измерений; толщиномером, дающим возможность измерить остаточную стенки теплопровода; металлоискателем для поиска крышек смотровых колодцев, заваленных снегом, грунтом, асфальтом; прибором для анализа газа в смотровом колодце, обеспечивающим безопасность работы оператора.

Приборы для контроля ограждающих конструкций

Прибор для контроля параметров воздушной среды позволяет измерить давление, влажность, температуру и скорость воздушного потока в контролируемом помещении.

Тепловизор обеспечивает получение теплового изображения контролируемого объекта, что дает возможность оценить теплоизолирующие свойства ограждающих конструкций и места повреждения теплоизоляции. Кроме того, тепловизор можно использовать и в двух упомянутых выше приборных модулях. Так, с его помощью можно контролировать температурный режим внешней поверхности котлов, определять место нарушения теплоизоляции теплопровода или место утечки теплоносителя.

Дополнительно лаборатория может быть оснащена ультразвуковым детектором, который позволяет локализовать место нарушения теплоизоляции ограждающих конструкций.

Кроме того, лабораторию можно укомплектовать персональным компьютером и принтером для обработки, хранения и документирования результатов измерений.

Для повышения эффективности использования контрольно-измерительных приборов, входящих в состав лаборатории, целесообразно предусмотреть курс обучения специалистов, которые будут эксплуатировать лабораторию.

С.34. ПРИМЕНЕНИЕ ВТОРИЧНЫХ ПАРАМЕТРОВ СПЕКТРАЛЬНЫХ ФУНКЦИЙ СИГНАЛОВ АЭ ПРИ РЕШЕНИИ ЗАДАЧ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ РАЗРУШЕНИЙ

Овчарук В.Н., Тихоокеанский государственный университет, Хабаровск, Россия

В работе приведены результаты экспериментальных исследований, полученные при испытании образцов керамических материалов разных типов. На конкретных примерах обосновывается эффективность использования вторичных параметров спектральных функций сигналов АЭ при решении задач прогнозирования разрушений.

При испытании образцов керамических материалов использовался приемный преобразователь с передаточной характеристикой $K'_{\text{пп}}(f)$ равномерной по колебательной скорости сдвиговой волны. Неравномерность АЧХ приемного преобразователя в диапазоне частот от 0,1 до 1,6 МГц не превышает 4 дБ. Из-за высокой неравномерности АЧХ исследуемых объектов, корректировка спектрограмм проводилась лишь по значениям усредненных по частоте функций исследуемого образца $\bar{K}_{\text{обп}}(f)$ и приемного преобразователя $\bar{K}_{\text{пп}}(f)$. При этом функция $\bar{K}_{\text{обп}}(f)$ усредняется также по результатам нескольких измерений. Статистическая обработка и вычисление вторичных параметров проводились толь-

ко для нормализованных спектральных функций $S(f_i)/S(f_i)_{\max}$, где f_i – дискретная частота i -го канала. Нормализация спектральных характеристик (СХ) производится по максимальному значению сглаженной по заданному критерию спектральной функции: $S_{\text{н}}(f_i) = S(f_i)/S(f_i)_{\max}$.

Для оценки «широкополосности» входного сигнала использовался энергетический параметр нормированного спектра:

$${}^jE_{\text{н}} = \sum_{i=1}^n [{}^jS_{\text{н}}(f_i)]^2,$$

где j – порядковый номер спектрограммы в блоке данных.

Это позволяет в дальнейшем получать значение энергии входного сигнала путем несложных вычислений:

$${}^jE = K_{\text{п}} [U_{\text{вх}} {}^jS(f_i)_{\max}]^2 {}^jE_{\text{н}},$$

где $U_{\text{вх}}$ – значение входной чувствительности анализатора спектра; $K_{\text{п}}$ – коэффициент пропорциональности.

«Неравномерность» спектральной функции удобнее оценивать по среднему значению интервала между экстремумами jT , а для оценки «изменчивости» спектра регистрируемых сигналов рекомендуется использовать значение энергетической характеристики модуля отклонения спектральной функции j -го сигнала от предыдущего значения ${}^jE'_{\text{н}}$.

Статистические характеристики для вторичных параметров ${}^jE_{\text{н}}$ и jT определялись:

$$E_{\text{ср}} = \frac{1}{z} \sum_{j=1}^z {}^jE_{\text{н}}; \quad G_E = \frac{1}{z-1} \sum_{j=1}^z |{}^jE_{\text{н}} - E_{\text{ср}}|^2; \quad \Delta_E = t_{\alpha}(z) \sqrt{\frac{G_E}{z}},$$

где $E_{\text{ср}}$, G_E , Δ_E – соответственно, среднее значение, дисперсия и доверительный интервал для энергетического параметра ${}^jE_{\text{н}}$.

По результатам статической обработки можно провести сравнительный анализ СХ сигналов АЭ, полученных при испытании образцов на разных стадиях нагружения. Анализируя графики функции $S_{\text{ср}}(f_i)$, можно определить, на каком этапе нагружения и на каких частотах происходят наибольшие изменения. Анализ функции $G_E(f_i)$ на разных стадиях нагружения позволяет охарактеризовать изменения СХ регистрируемых акустических сигналов и может быть полезен при решении задач диагностики и прогнозирования. С увеличением нагружающего усилия $P(t)$ растет уровень ВЧ-составляющих функции $S_{\text{ср}}(f_i)$, а наибольшие изменения в спектре сигналов происходят в средней части $P(t)$.

Анализ функции $S_{\text{ср}}(f_i)$ сигналов АЭ показывает, что, несмотря на большие различия в спектре сигналов АЭ, полученных на разных стадиях нагружения, выделить устойчивые критерии поврежденности материала не представляется возможным. Возникает необходимость рассмотреть процесс разрушения образца в динамике его развития. Это возможно при анализе параметров, характеризующих широкополосность, неравномерность и изменчивость СХ.

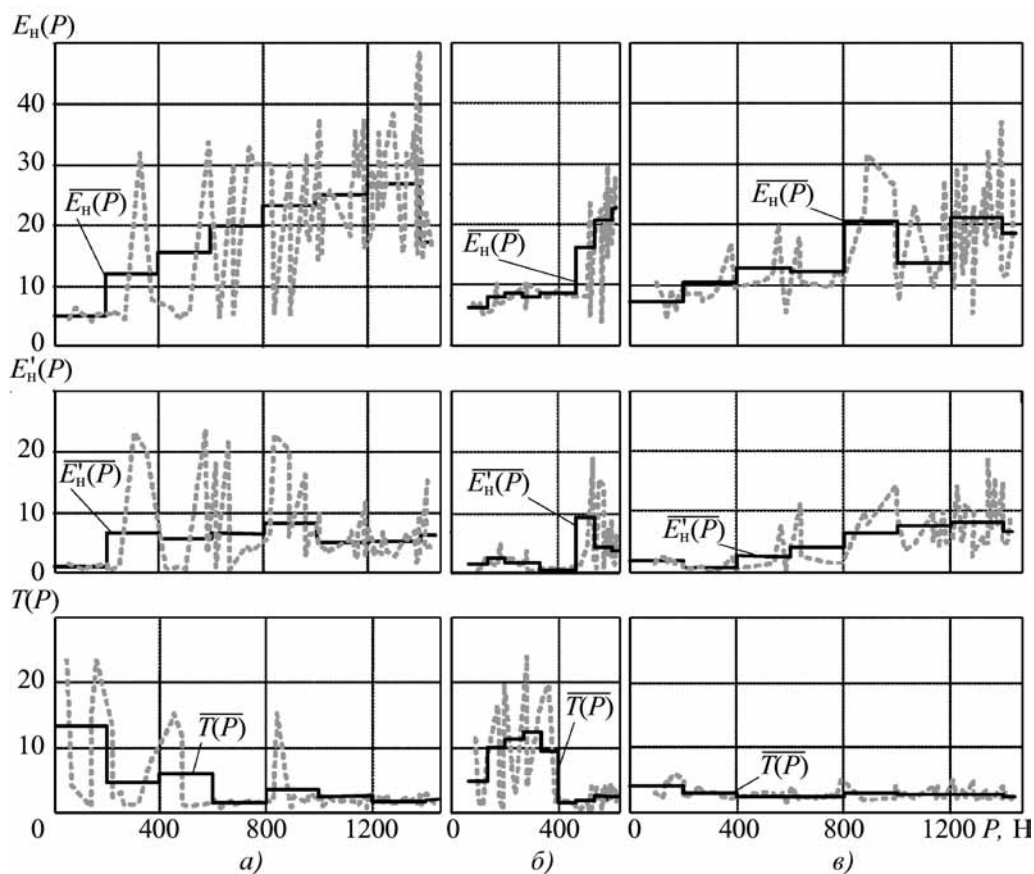


График функций энергетических и временных параметров СХ сигналов АЭ для неповрежденных образцов (а), термически обработанных (б) и с дефектами виде инородных включений (в)

На рисунке приведены графики зависимостей параметров от величины нагружающего усилия P для образцов с разной степенью поврежденности. Наличие инородных включений (в) не меняет прочностных характеристик материала, однако сильно влияет на динамику изменения всех вторичных параметров. Наличие дефектов в виде микротрещин (б) существенно влияет на прочность и изменяет все параметры. Все изложенное позволяет определить надежные критерии для диагностики и контроля качества материала.

Литература

1. Лыков Ю.И., Горбунов А.И., Овчарук В.Н. и др. Установка «Спектр» для анализа спектральных характеристик акустической эмиссии // Дефектоскопия. 1988. № 1. С. 31–36.
2. А.с. 1532865 СССР. Способ определения предела прочности керамических материалов / Гогоци Г.А., Неговский А.Н., Кочнев Г.П., Овчарук В.Н. // Бюл. ОИПОТЗ. 1989. № 48.

С.35. ТРУДНОСТИ ПРИ РЕСТАВРАЦИИ ИЗОБРАЖЕНИЙ МЕТАЛЛОГРАФИИ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ТОЧНОСТИ КОЛИЧЕСТВЕННЫХ ОЦЕНОК

Быков В.В., Маслов А.А., Филинов М.В., Фурсов А.С.,
ЗАО «НИИИИИ МНПО «Спектр», Москва, Россия

В оптическом контроле и металлографии, в частности, необходимо свести к минимуму искажения на изображении для достижения наибольшей точности измерений размеров объекта по его изображению. Один из методов решения этой задачи – реставрация изображений.

Трудность реставрации изображений обусловлена следующими факторами:

- функция рассеяния точки (ФРТ) прибора заранее не известна;
- ФРТ может иметь сложную структуру (быть нелинейной и пространственно неинвариантной).

В связи с этим предлагается разбить задачу восстановления на несколько этапов.

1. Фрагментация изображения на участки пространственной инвариантности и линейности ФРТ.

2. Оценка ФРТ на каждом выделенном участке изображения.

3. Формулировка и решение обратной задачи восстановления исходного изображения в предположении, что ФРТ известна приближенно.

4. Сборка изображения.

Трудности каждого из этапов.

1. Наличие существенных геометрических искажений. Поскольку модель искажающей системы предполагается линейной, а импульсная характеристика – пространственно инвариантной, то у реального размытого и, возможно, зашумленного изображения степень размытости должна быть однородной по всему фрагменту, при этом фрагмент должен содержать объекты с контрастными перепадами яркостей.

2. Оценка ФРТ может быть получена априорным (по тест-объекту) или апостериорным (по размытому изображению) методами. При апостериорном методе поиска ФРТ основную трудность представляет правильный выбор размера окна восстановления ФРТ: с одной стороны, в него не должно попадать более одной границы, с другой – шум не должен вызывать ложного детектирования границы.

3. Основная трудность при реализации алгоритма восстановления фрагмента – выбор параметра регуляризации обратной задачи *inverse problem regularization* (IPR). Реализована процедура автоматического выбора параметра IPR parameter по критерию минимума артефактов.

4. Трудность этапа сборки – необходимость восстановления размеров фрагментов до исходного, а также исключение видимых границ между фрагментами. Данная задача решается введением компенсационных рамок фрагментов.

Все указанные алгоритмы реализованы в системе компьютерной математики MatLab.

С.36. ОПЫТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МОДЕРНИЗИРОВАННОЙ УСТАНОВКИ «ЭМИС-2» НА ОБЪЕКТАХ КОМПАНИИ «ЭКСОН НЕФТЕГАЗ ЛИМИТЕД»

Овчарук В.Н., *Тихоокеанский государственный университет, Хабаровск, Россия*

Метод акустической эмиссии (АЭ), основанный на регистрации волн напряжений, возникающих в результате формирования, изменения и разрушения структур различных материалов, является в настоящее время наиболее эффективным для изучения процессов и стадии развития дефектной структуры и создания систем непрерывного мониторинга ответственных объектов промышленности.

В данном опыте в качестве источника использовался реальный сигнал АЭ полученный в процессе разрушения точечной сварки. На рис.1 представлена структурная схема экспериментальной установки.

В качестве образца была выбрана пластина из Ст3 с приваренным металлическим стержнем. Сигнал снимался в процессе разрушения сварки. Расстояние от места деформации до приемного преобразователя составляло $d = 7$ см. При такой схеме организации эксперимента особые требования предъявляются к приемному преобразователю. Его АЧХ должна быть как можно более гладкой, без явно выраженных резонансных свойств. Обусловлено это неравномерностью и высокой изменчивостью распределения энергии в спектре сигналов АЭ. Не меньшее влияние оказывает и сам объект, его форма и акустические характеристики, которые во многом влияют на принимаемый датчиком спектр сигнала.

Выбранный способ получения сигналов АЭ является лишь одним из возможных вариантов. В работе не ставилось задачи сопоставить процесс генерации сигналов акустических волн и параметров физического разрушения материала. Однако проводилась работа по выявлению наиболее информативных участков временной характеристики, так как основной интерес представляет предыстория появления дефекта, а не сам факт разрушения. Именно на этой стадии необходимо четко идентифицировать сигнал, выделив его на фоне возможных помех.

На рис. 2 показан участок временной характеристики процесса разрушения. Данный процесс можно охарактеризовать как процесс старгивания и развития трещины. На рис. 2, *в* и *д* приведены характеристики суммарной АЭ и скорости счета АЭ. При добавлении к данному сигналу стационарного случайного процесса временные характеристики при неизменном пороге дискриминации уже не в состоянии четко определить момент прихода сигнала. ОСШ при этом для первого импульса равно примерно 3дБ, для второго – 1 дБ и для третьего – 0,5 дБ. При применении плавающего порога выделить удастся лишь приход первого, наибольшего импульса.

На рис. 2 показаны спектральные характеристики того же сигнала. Видно, что энергия импульсов распределена в широкой полосе частот. При добавлении окрашенного шума наиболее информативной оказываются спектрограммы процесса, позволяя определить приход двух первых импульсов.

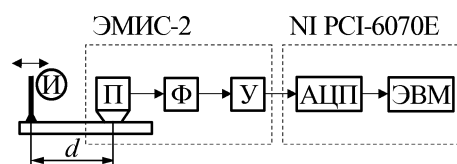


Рис. 1. Структурная схема установки

Ухудшение результатов анализа в сравнении с предыдущим примером объясняется широкополосностью реального сигнала. В данном случае шум практически полностью скрывает низкочастотную составляющую, что в конечном итоге делает практически невозможным выделение сигнала на фоне помех традиционными методами.

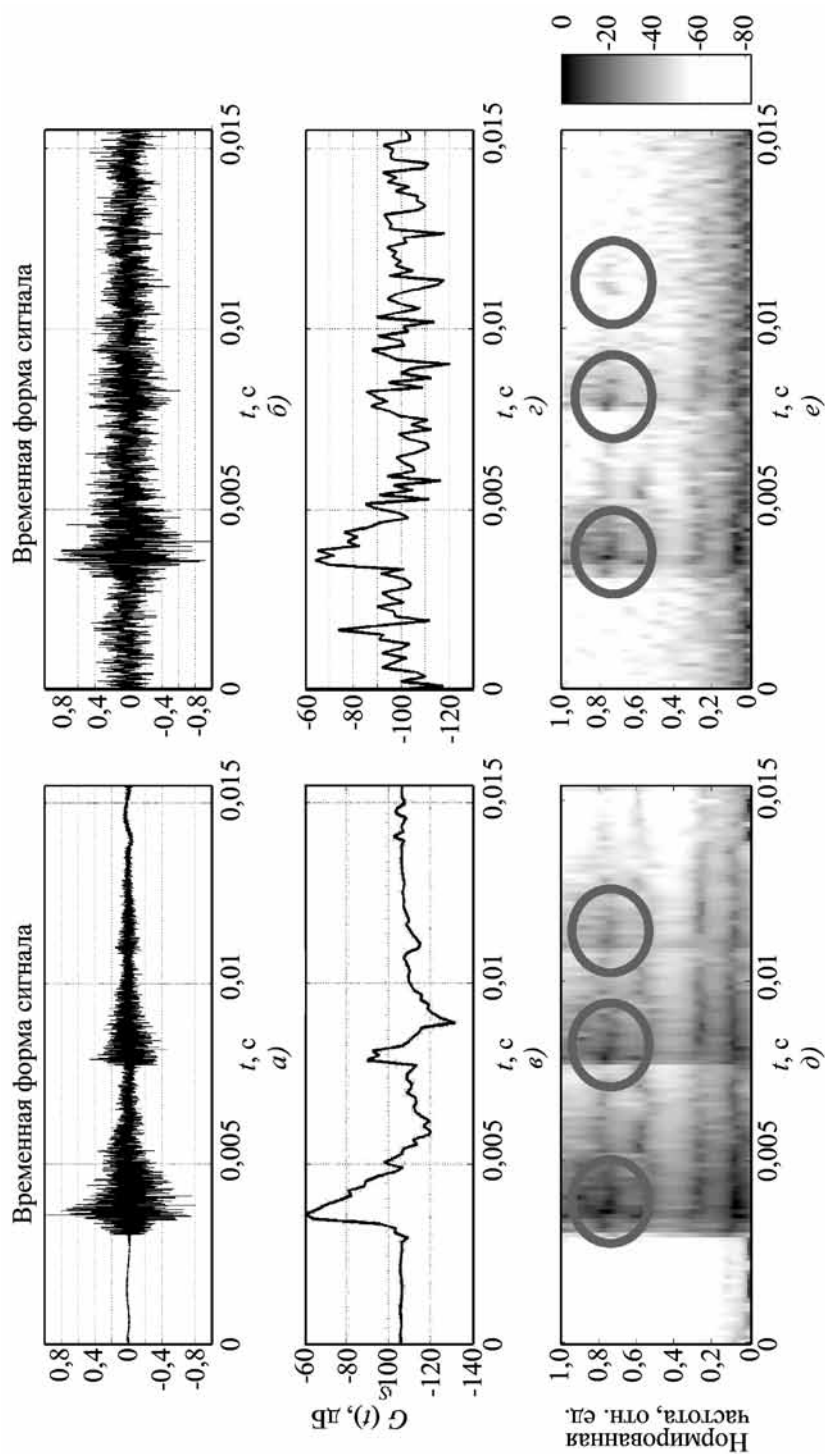


Рис. 2. Исследование помехоустойчивости спектральных характеристик сигнала АЭ:

а – исходный сигнал; б – сигнал с добавлением окрашенного шума (ОШ 3 дБ); в, г – дисперсия спектральных характеристик (дБ); д, е – спектрограммы АЭ

Обсуждение результатов

- наиболее достоверно идентифицировать сигнал АЭ позволяют спектрограммы, т.е. характеристика изменения мгновенного спектра во времени;
- статистические характеристики спектральных оценок, такие как дисперсия, оказываются полезными при наличии длинных записей данных и близкими к стационарному характеру помех;
- при исследовании реальных сигналов от разрушения традиционные характеристики дают удовлетворительный результат только при низком уровне или отсутствии помех.

Литература

1. **Лыков Ю.И., Горбунов А.И., Овчарук В.Н. и др.** Установка «Спектр» для анализа спектральных характеристик акустической эмиссии // Дефектоскопия. 1988. № 1. С. 31–36.
2. **Овчарук В.Н.** Идентификация механических параметров по спектральным характеристикам сигналов акустической эмиссии // Информационные технологии моделирования и управления. 2005. № 5. С. 695–701.

С.37. ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННАЯ СИСТЕМА ДИАГНОСТИКИ И КОНТРОЛЯ КОРРОЗИОННОГО СОСТОЯНИЯ И ГЕРМЕТИЧНОСТИ ТРУБОПРОВОДОВ

Потапов И.А., *Северо-Западный государственный заочный технический университет, Санкт-Петербург, Россия*

В работе рассматривается разработанный вариант телекоммуникационной системы диагностики и контроля коррозионного состояния и герметичности трубопроводов.

Создаваемая экспериментальная система основана на сочетании пассивного (АЭ) и активного метода акустического контроля и состоит из нескольких акустических датчиков, двух генераторов импульсов, нескольких (по числу датчиков) усилителей принимаемых сигналов, коммуникационного блока и портативного компьютера («ноутбука»).

Блоки электроники (БЭ) осуществляют управление акустическими датчиками и обрабатывают поступившие от них сигналы. Блок коммутации сети (К) обеспечивает прием сообщений от всех БЭ и пересылку их на ПК, а также отправку на любой из БЭ команд, поступивших от ПК. При выборе интерфейса передачи необходимо учитывать *требования по скорости*, изложенные ниже. Информация от каждого датчика обрабатывается соответствующим блоком электроники (БЭ) и поступает в цифровом виде на портативный ПК через коммутатор цифрового последовательного канала (К). На ПК эта информация обрабатывается разработанным программным обеспечением и выдается на дисплей, сохраняется на жестком диске и может быть в дальнейшем распечатана на принтере в виде отчета.

В докладе рассмотрены принцип действия системы, порядок установки датчиков на корпус трубы, управление режимом работы системы при появлении трещины или разрыва в трубопроводе, а также характер сигналов, которые вносят шумы, возникающие за счет работы насосов, тока воды и от коррозионных дефектов.

В активном режиме работы участвует в каждый момент времени только один датчик. При этом периодически он подключается к высокочастотному генератору импульсов резонансной частоты (20, 30, 50 или 100 кГц) на 10 мкс, в результате чего в трубопроводе

возбуждается затухающий акустический сигнал длительностью около 250 мкс. В момент подключения датчика к генератору запускается отсчет времени. По прошествии 250 мкс от момента подключения датчика к генератору импульсов он включается на вход усилителя. Коммутацией пьезодатчика, отсчетом времени и всеми остальными операциями управляет микросхема программируемой логики, обрабатывающая также команды, поступившие от ПК. Отраженная от какого-либо препятствия акустическая волна возвращается и достигает датчика, с которого снимается ее форма в виде колебаний напряжения. Эти колебания преобразуются быстродействующим АЦП в информационный пакет, который помещается в оперативное запоминающее устройство (RAM) вместе со значением времени, прошедшего с момента возбуждения датчика до прихода фронта отраженной волны (отсчет времени останавливается). Далее этот пакет целиком отправляется на ПК по последовательному каналу передачи. На ПК принятый пакет обрабатывается соответствующим образом и на дисплей выводится осциллограмма принятого сигнала, а также рассчитывается расстояние от датчика до точки отражения волны. Погрешность рассчитанной величины не превышает 0,7 м. Весь цикл повторяется через 2...25 с.

В пассивном режиме работают одновременно все четыре датчика. При возникновении сигнала акустической эмиссии он регистрируется всеми датчиками в порядке прохождения их фронтом акустической волны. О факте регистрации сообщается на ПК, где после прихода первого такого сообщения (всего их должно быть 4, по числу датчиков) включается отсчет времени t до момента приема второго сообщения. По завершении приема всех сообщений рассматривается порядок их прихода (т.е. порядок прохождения фронтом волны датчиков) и делается заключение о местоположении источника акустической эмиссии. Затем в зависимости от порядка рассчитывается расстояние от источника до первого принявшего сигнал датчика. Результаты выводятся на дисплей ПК, сохраняются в специальном файле протокола, и позже отчет о работе может быть распечатан на принтере.

Размещение раздельно-совмещенных преобразователей по винтовой линии на поверхности металлической трубы позволяет определять также угловые координаты акустико-эмиссионных источников.

Диагностический приборный центр содержит: коммутатор пьезоэлектрических излучателей, усилитель мощности, генератор электрических сигналов, генератор электрических импульсов с управляемым спектром, электронный коммутатор пьезоэлектрических приемников, усилитель электрического напряжения, быстродействующий компьютер, высокочастотный аналого-цифровой преобразователь, оснащенный монитором и принтером.

Полученные результаты распечатывают на принтере и передают по электронной почте на удаленный диагностический центр, одновременно пользуясь средствами телемеханики.

Используя программное обеспечение компьютера, измеряют смещения φ фазы бегущей волны, рассчитывают длину волны λ на разных частотах f , равную $\tan \varphi$ и фазовую скорость $U_{ph} = \lambda f$. Строят дисперсионные кривые в координатах $U_{ph} = F(\lambda/H)$, где H – толщина стенки металлических труб магистрали и определяют толщину H по всей длине магистрали или на отдельных наиболее опасных участках. В процессе эксплуатации магистрали наблюдают во времени за относительным изменением толщины стенки трубопровода, оценивают коррозионные процессы и эффективность антикоррозионной защиты.

Для контроля герметичности труб магистрали или отдельных ее участков с помощью генератора электрических импульсов с изменяющимся спектром генерации формируют упругий импульс минимальной длительности, например на резонансной частоте преобразователя $f = 10^5$ Гц формируют упругий импульс длительностью $\tau_{имп} = 10$ мкс. Коммутато-

ром излучателей последовательно подключают первый, второй и т.д. излучатели раздельно-совмещенных преобразователей, а коммутатором приемников синхронно подключают первый, второй и т.д. приемники раздельно-совмещенных преобразователей и при известных координатах их расположения на трубопроводе регистрируют время, скорость распространения и интегральные потери энергии упругих импульсов, распространяющихся в двух преимущественных направлениях по образующим и по окружности трубопровода.

Для определения линейных и угловых координат акустоэмиссионного источника определяют разницу времен прихода акустических сигналов от двух излучателей, между которыми расположен источник акустической эмиссии.

Таким образом, разрабатываемая телекоммуникационная система позволяет последовательно использовать три метода:

- активный метод диагностики и контроля коррозионной стойкости трубопроводов путем возбуждения и анализа параметров распространения волн Лэмба S_0 и мод a_0 ;
- активный эхоимпульсный метод обнаружения дефектов в трубопроводах (трещин, рисков, закатов и т.п.) в бегущей волне, анализируя параметры отраженных сигналов;
- пассивный акустико-эмиссионный метод, позволяющий контролировать герметичность трубопроводов как в процессе эксплуатации, так и при аварийных ситуациях.

Разрабатываемые методы и средства диагностики и контроля трубопроводов тепловых сетей позволяют: увеличить срок службы теплопроводов, снизить себестоимость доставки тепловой энергии потребителям, обеспечить безаварийную эксплуатацию, способствовать экономии потребляемого топлива и обеспечить своевременную систему капитального ремонта.

Предлагаемое техническое решение может быть использовано при работе в автономном режиме, а также в режиме автоматического управления процессом диагностики и контроля трубопроводов и магистралей, транспортирующих газ, нефть и другие продукты.

С.38. ОСОБЕННОСТИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ РЕНТГЕНОВСКИХ ГЕНЕРАТОРОВ, ПРИМЕНЯЕМЫХ В РАДИОМЕТРИЧЕСКОМ ОБОРУДОВАНИИ ПРИ СОРТИРОВКЕ РУД И ТЕХНОГЕННОГО СЫРЬЯ

Лебедев П.В., Федоровский Е.В., *ООО «ФЛЭШ ЭЛЕКТРОНИКС», Москва, Россия*

В последние десять лет при решении задач обогащения, сортировки руд и техногенного сырья все чаще используется рентгенорадиометрический метод, относящийся к классу экологически чистых и низкзатратных процессов и позволяющий в отличие от других методов напрямую определять массовую долю элементов. Суть метода заключается в анализе спектра характеристического излучения образца, вызванного за счет направленного на него первичного потока излучения, формируемого рентгеновским генератором. При этом анализ должен быть произведен в условиях движущегося (падающего) потока большого количества образцов за короткое время.

Статья посвящена особенностям проектирования рентгеновских генераторов для этих задач, сформулированы требования, предъявляемые к источнику первичного излучения, приведен обзор рынка рентгеновских аппаратов, рассмотрены вопросы, связанные с условиями эксплуатации оборудования и режимами работы. Особое внимание уделено надежности и стабильности параметров излучения.

С.39. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ДИСТАНЦИОННОГО ДОСМОТРА НА ОСНОВЕ РЕГИСТРАЦИИ РАССЕЯННОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

Буклей А.А., Паршин И.А., ООО «ФЛЭШ ЭЛЕКТРОНИКС», Москва, Россия

В работе рассмотрены возможности применения для дистанционного досмотра различных методов контроля на основе регистрации рассеянного излучения, проведена их расчетная и экспериментальная оценка.

Созданы лабораторные макеты комплексов для дистанционного досмотра. Проведены экспериментальные исследования их характеристик на различных объектах контроля. Определены возможности создания комплексов дистанционного контроля различного класса (малогабаритных, мобильных, стационарных) и их технических характеристик. Определены технические требования к составным частям комплексов различного назначения.

С.40. ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПЛАСТИЧЕСКОЙ ДЕФОРМАЦИИ И ДЕСТРУКЦИИ НА КОЭРЦИТИВНУЮ СИЛУ СТАЛИ

Довгилов С.Е., Шатерников В.Е., МГУПИ, Москва, Россия

Установлено, что максимальная степень деструкции в металле трубопроводов наблюдается в поверхностных слоях отдельных зон с максимальными действующими напряжениями. Эта деструкция может послужить инициатором зарождения разрушения стенки трубопровода.

Известно, что коэрцитивная сила ферромагнетика существенно зависит от степени его деструкции и может быть использована в качестве информативного параметра при неразрушающем контроле состояния стальных трубопроводов. При этом необходимо обеспечить оценку этого параметра (коэрцитивной силы) в поверхностных слоях стальных объектов.

Для этого предложено использовать неразрушающий магнитный метод, основанный на регистрации магнитных шумов (МШ) перемагничивания, так как известно, что при работе с МШ-приборами регистрируемые сигналы магнитного шума формируются на поверхности перемагничиваемого ферромагнетика и несут информацию о состоянии именно поверхностных слоев. При этом в качестве параметра, позволяющего оценить величину коэрцитивной силы, предложено использовать время с начала перемагничивания до достижения ЭДС МШ максимальной величины T_M .

Проведены эксперименты по регистрации коэрцитивной силы с помощью стандартного коэрцитиметра КИФМ-1 и МШ-прибора «ПИОН-01Ц».

Измерения выполнены на специальном образце, подвергнутом различной степени деформации (Ст3). Образец имеет вид наконечника копья и сформирован путем деформации (горячейковки) квадратного прутка размером сечения 10×10 мм. Кроме того, в середине оставшейся квадратной части образца выполнено деформирование поверхности площадью 10×15 мм (ударами молотка создан поверхностный наклеп). Таким образом, на образце из одного металла получены зоны с различной степенью деформации: зона № 1 представляет недеформированную часть; в зоне № 2 сформирован поверхностный наклеп и в зоне № 3 обеспечена пластическая деформация всего образца.

Данные регистрации приборами КИФМ-1 и ПИОН-01Ц параметров, взаимосвязанных с величиной коэрцитивной силы, приведены в таблице.

Результаты эксперимента по регистрации коэрцитивной силы приборами КИМФ-1 и «ПИОН-01Ц»

№ зоны	Прибор КИМФ-1	Прибор ПИОН-01Ц
	Ток размагничивания I_p , мА	Время T_M , мс
1	12	10
2	12	12
3	23	15

Из приведенных в таблице данных видно, что прибор «ПИОН-01Ц» позволяет фиксировать наличие пластической деформации как во всей толще стали, так и на поверхности образца. Эти данные позволяют предложить параметр T_M и прибор «ПИОН-01Ц» для регистрации в стальных объектах зон деструкции (зон с пониженной пластичностью).

С.41. ИССЛЕДОВАНИЕ НА УСТОЙЧИВОСТЬ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ, ИМЕЮЩИХ СЛОЖНОЕ МАТЕМАТИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ

*Забилов Р.Р., Нижегородский государственный технический университет,
Дзержинский политехнический институт, Дзержинск, Нижегородская обл., Россия*

В статье рассматриваются особенности аналитического исследования на устойчивость разработанной системы управления вакуумным деаэратором. Настоящая статья содержит краткое описание разработанной системы оптимального управления для рассматриваемого объекта управления, включая структуру и алгоритм расчета регулирующих воздействий в контуре управления по возмущению. Показана возможность использования традиционных методов для оценки устойчивости разработанной системы.

Исследование на устойчивость является последней и одной из самых важных стадий разработки системы управления. Требование к обеспечению устойчивости является основным, более важным, чем требование к качеству регулирования. В последнее время алгоритмы, в соответствии с которыми работают системы управления, становятся все более сложными, что затрудняет использование традиционных методов исследования на устойчивость.

Объект управления, рассматриваемый в данной работе, – вакуумный деаэратор ДВ-400 котла-утилизатора П-91, входящего в состав ПГУ. При обработке экспериментальных данных установлено, что вакуумный деаэратор проявляет ярко выраженную многомерность, сила перекрестных связей сопоставима с силой прямых, а также то, что среди возмущающих воздействий можно выделить три основных.

Для достижения лучшего качества регулирования предлагается использовать комбинированную систему регулирования (рис. 1), имеющую контур управления по возмущению для воздействия на упреждение. В контуре управления по возмущению будем совместно находить оптимальные значения обоих регулирующих воздействий. Данная структура системы управления будет стремиться приблизить систему к полностью инвариантной.

Так как алгоритм расчета регулирующих воздействий в разомкнутом контуре системы управления включает в себя выполнение следующих математических действий: численная аппроксимация изменений возмущающих воздействий полиномами третьей степени; численное решение условия инвариантности относительно регулирующих воздействий и т.д., сложно назвать полученную систему управления линейной.

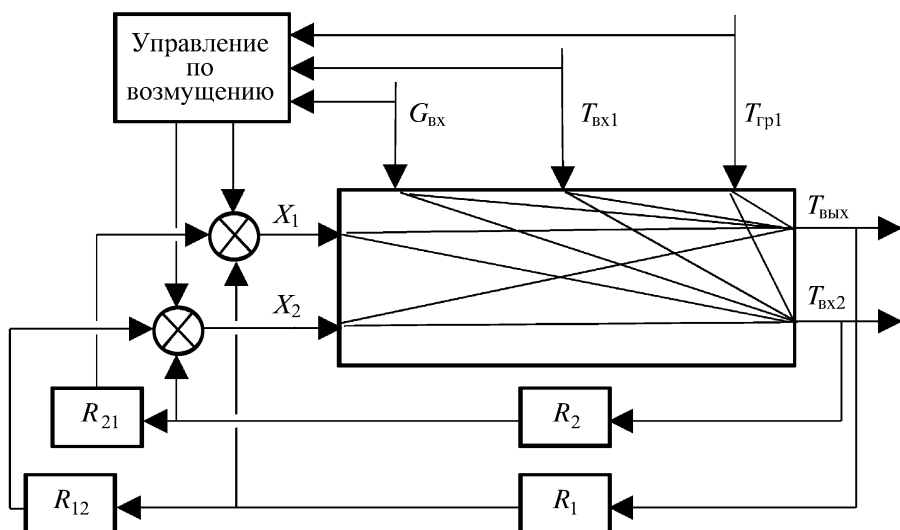


Рис. 1. Структура комбинированной системы управления вакуумным деаэратором

Однако было выяснено, что при подаче на вход системы гармонического возмущения на выходе устанавливаются гармонические колебания, которые характеризуются следующим:

- 1) частота гармонических колебаний на выходе равна частоте на входе во всем диапазоне частот;
- 2) вид АЧХ не зависит от амплитуды и фазы входного гармонического возмущения;
- 3) вид ФЧХ не зависит от амплитуды и фазы входного гармонического возмущения.

Одним словом, система ведет себя как линейная и может быть исследована на устойчивость методами, применяемыми для линейных систем.

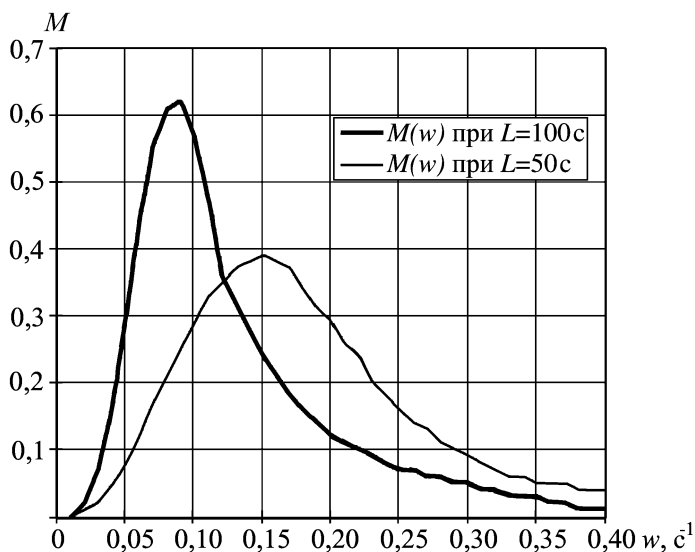


Рис. 2. АЧХ

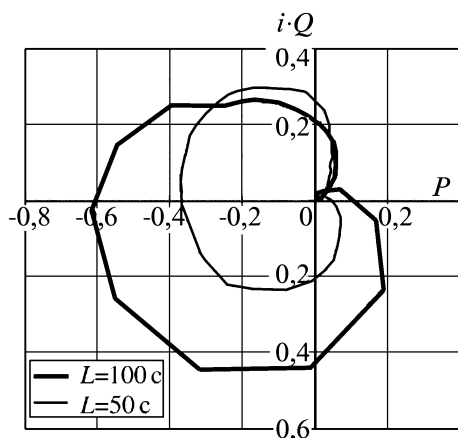


Рис. 3. АФХ

стойчивость системы по виду характеристик АЧХ и АФХ.

Важную роль при настройке алгоритма работы разомкнутого контура играет выбор величины длительности расчетного периода L . Исследуем систему на устойчивость при различных значениях длительности расчетного периода с целью выявить влияние данного параметра на устойчивость.

Вид представленных частотных характеристик АЧХ и АФХ позволяет сделать вывод об устойчивости разработанной системы управления, возможности ее использования в условиях случайно изменяющихся возмущающих воздействий, а также сделать выводы о запасе устойчивости и влиянии параметров системы на ее устойчивость.

С.42. ДИАГНОСТИЧЕСКИЙ МНОГОКОНТУРНЫЙ КОМПЛЕКС ПО ОБЕЗВРЕЖИВАНИЮ ПРОМЫШЛЕННЫХ ОТХОДОВ

Сажин В.А., *Дзержинский политехнический институт,
Дзержинск, Нижегородская обл., Россия*

При проектировании топливосжигающих установок учитывается, что данное устройство представляет сложную взаимосвязанную многоконтурную систему, в которой необходимо контролировать большое число параметров, выполнять диагностику отдельных показателей и вводить коррекцию по выходным параметрам.

Разработана промышленная схема многоконтурной системы управления процессом обезвреживания промышленных отходов.

В схеме выделены: контур управления подачей топлива с корректирующим контуром по концентрации остаточных потенциально опасных компонентов, контур управления подачей воздуха с корректирующим контуром по концентрации остаточного кислорода в дымовых газах.

Основным возмущающим воздействием для установки по обезвреживанию отходов является состав промышленных стоков.

Дополнительно изменение состава промышленных отходов можно продиагностировать по количеству органических и неорганических примесей в дымовых газах. Повышение количества примесей говорит о неполном сгорании отходов. В этом случае необходимо в соответствии с корректирующей моделью изменить задание регулятору температуры. Этот контур каскадного регулирования обеспечивает экологичность процесса сжигания

Также необходимо принять во внимание, что предложенный алгоритм расчета регулирующих воздействий в разомкнутом контуре невозможно представить в виде передаточной функции или системы дифференциальных уравнений.

Это делает невозможным использование корневого метода, критерия устойчивости Гурвица, Рауса или Михайлова для определения устойчивости системы.

В подобных случаях, как, например, и при исследовании на устойчивость систем управления с нечеткой логикой, используется критерий Найквиста.

Определим устойчивость основного канала возмущения $G_{вх} \rightarrow T_{вых}$. Определим ус-

отходов, не допуская превышение допустимых норм выброса вредных примесей в атмосферу. В качестве диагностирующего прибора выбран многокомпонентный газоанализатор ЭМГ производства ЗАО «Меттек».

Вторым важнейшим фактором, который обеспечивается системой диагностики и управления, является экономичность процесса.

Повышение содержания остаточного кислорода в дымовых газах говорит о том, что в печь подается избыток воздуха. При этом происходит унос тепла, а для повышения температуры необходимо увеличивать расход природного газа, что ведет к дополнительным затратам. Задачу минимизации остаточного кислорода решает контур коррекции по кислороду.

Диагностика остаточного кислорода решается с использованием анализатора кислорода АДГ-210 на основе электролитного электрода. При повышении содержания остаточного кислорода в дымовых газах анализатор АДГ-210 выдает сигнал микропроцессорному контроллеру, который в соответствии с корректирующей моделью изменяет задание регулятору расхода воздуха, воздействующему на исполнительный механизм, установленный на линии подачи воздуха в печь. Коррекция задания регулятору расхода воздуха происходит также при изменении расхода природного газа. Это необходимо для поддержания оптимального соотношения расходов воздуха и природного газа. Продолжением работы будет разработка математических моделей многоконтурной системы управления.

С.43. МЕТОДИКА ИЗМЕРЕНИЯ ТЕПЛОВИЗОРОМ ТЕМПЕРАТУРЫ ПОВЕРХНОСТИ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ОБРАЗЦОВ В ПРОЦЕССЕ СЖАТИЯ

Смирнов А.С., Институт машиноведения УрО РАН, Екатеринбург, Россия

В процессе деформации при повышенных температурах протекают два конкурирующих процесса, отвечающих за конечное формирование структуры металла. Первый осуществляет процесс упрочнения и характеризуется увеличением плотности дислокаций. Противостояние этому процессу оказывает второй процесс, заключающийся в протекании релаксационных механизмов в течение деформации. В процессе деформации происходит увеличение температуры исследуемого образца, что приводит к ускорению релаксационных процессов. Для учета влияния разогрева металла на процессы разупрочнения необходимо знать изменение температуры образца в процессе испытания.

В связи с тем что тепловизор регистрирует энергию излучения, исходящую от объекта, то в зависимости от коэффициента излучения его поверхности увеличивается или уменьшается вклад в энергию излучения от близконаходящихся объектов и окружающей среды. На рисунке *а* приведен пример распределения температурного линейного профиля по длине цилиндрического образца. Из него видно, что регистрируемая температура имеет минимум в центре образца и увеличивается, приближаясь к торцам *1*, в то время как фактическая температура поверхности образца равномерно распределена. Данный эффект является результатом влияния на регистрируемое излучение близко находящихся объектов и окружающей среды.

Целью данной работы является разработка методики экспериментального определения температуры поверхности цилиндрического образца в процессе сжатия.

Опыты на сжатие образцов проводили на автоматизированной установке, созданной в Институте машиноведения УрО РАН. Установка обеспечивает скорость деформации в пределах $0,01 \dots 10 \text{ с}^{-1}$. Образец помещали в контейнер и нагревали в электропечи до температуры исследования. Нагретый контейнер с образцом переносили из печи в захваты

установки и деформировали. Испытания проводили без применения смазки, используя полированные бойки. Изменение температуры поверхности образца измеряли профессиональной тепловизионной системой NEC TH-9100WL (температурное разрешение 0,1 °С, формат термограмм 320×240 при частоте их кадров 30 Гц) через прорезь в контейнере, содержащем образец. Для учета влияния внешних объектов на регистрируемое излучение проводили специальные эксперименты. Собранный контейнер с образцом помещали в предварительно нагретую электропечь при температуре испытания и выдерживали в течение часа до полного выравнивания температуры по всему объему образца. Затем помещали контейнер с образцом в захваты и регистрировали температурный профиль образца. Из допущения, что температура всей поверхности образца является равномерно нагретой и равна температуре среды в печи, подбирали коэффициент коррекции температуры α в каждой точке образца, рассчитываемый по формуле

$$\alpha = \frac{T_{\Phi}}{T_p},$$

где T_p – регистрируемая температура образца в точке; T_{Φ} – фактическая температура образца.

Из предположения, что за 0,1 с температура образца не изменится, коэффициент α в точке рассчитывали как среднее арифметическое за этот период.

Образец в процессе сжатия в результате влияния сил трения меняет свою форму, приобретая форму бочки. В результате этого происходит изменение коэффициента коррекции в направлении измерения, и регистрируемая температура приобретает вид, который приведен на рисунке б (1). Для учета изменения конфигурации весь процесс сжатия разбивали на временные участки, характеризующие регистрируемое изменение геометрии образца. В эти моменты, зная геометрию образца в процессе испытания, сжимали тарировочный образец до схожей геометрии и затем помещали собранный контейнер с образцом в электропечь до выравнивания температуры образца по объему. А затем производили такие же операции, как и для цилиндрического образца. Полученные поля коэффициента коррекции для каждой геометрии образца использовали для расчета температуры образца в каждой точке образца в процессе испытания.

Разработанная методика позволила экспериментально определить изменение температуры поверхности цилиндрического образца в процессе сжатия.

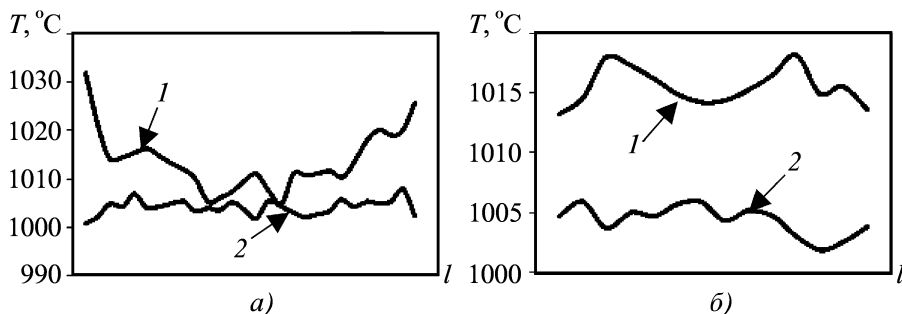


Рис. 1. Пример влияния близлежащих объектов на регистрируемое излучение:
а – линейный температурный профиль вдоль цилиндрического образца; б – линейный температурный профиль вдоль образца с бочкой; 1 – без учета коррекции; 2 – с учетом коррекции

С.44. АКУСТИКО-ЭМИССИОННЫЙ КОНТРОЛЬ НА УСТАНОВКЕ ДЕТОКСИКАЦИИ И ОБЕЗВРЕЖИВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СТОЧНЫХ ВОД

*Цариковский А.И., Сажин С.Г., Дзержинский политехнический институт,
Дзержинск, Нижегородская обл., Россия*

В условиях ликвидации и утилизации производственных объектов, имеющих непосредственное отношение к вредным и отравляющим веществам, чрезвычайно остро встает вопрос о безопасном ведении технологического процесса.

В данном случае понятие «безопасное ведение технологического процесса» подразумевает под собой довольно широкий перечень требований и условий функционирования установки, но так как основную опасность для персонала представляют химические вещества, участвующие в технологическом процессе (водные растворы серной кислоты и гидроксида натрия, а также пероксида водорода), следует предусмотреть не только экологический мониторинг (на наличие вредных веществ), но и проведение операций по технической диагностике и неразрушающему контролю аппаратов и трубопроводов.

Ввиду того что трубопроводы подачи и емкости хранения основных химических реагентов выполнены из «черной» углеродистой стали (подверженной коррозии) и использовались ранее (имеют большой срок службы), то встает вопрос о контроле состояния оборудования. Постоянного наблюдения требуют участки соединения трубопроводов (как сварные, так и фланцевые), аппараты и емкости, участвующие в технологическом процессе.

Из-за наличия в технологическом процессе вредных и агрессивных химических веществ желателен непрерывный анализ состояния оборудования. Среди разнообразия методов и технических средств следует выделить метод акустической эмиссии (АЭ).

Метод основан на регистрации упругих волн, излучаемых дефектами, развивающимися в напряженных конструкциях. Упругие волны, распространяясь в толще металла, достигают датчиков и преобразуются в электрические сигналы. Анализируя зарегистрированные сигналы, определяют наличие и степень опасности дефекта, а также его координаты. Но что самое главное, диагностика может проводиться без остановки процесса и вывода оборудования из эксплуатации. Также уникальность данного метода заключается в возможности определения остаточного ресурса объекта контроля с достаточной точностью.

Акустическая эмиссия отличается от большинства методов неразрушающего контроля в двух ключевых аспектах. Во-первых, источником сигнала служит сам материал, а не внешний источник, т.е. метод является пассивным (а не активным, как большинство других методов контроля). Во-вторых, в отличие от других методов АЭ обнаруживает движение дефекта, а не статические неоднородности, связанные с наличием дефектов, т.е. АЭ обнаруживает развивающиеся, а потому наиболее опасные дефекты.

Для решения задачи внедрения системы акустико-эмиссионного метода контроля в рамках существующей установки детоксикации и ее дальнейшего эффективного функционирования следует:

- абсолютно точно знать о характерных и наиболее опасных для данной конструкции типах дефектов и о параметрах акустической эмиссии, излучаемой ими. Главным из них, с точки зрения вероятности обнаружения дефекта является амплитуда волн напряжения. Чем выше исходная амплитуда, тем больше вероятность регистрации волн напряжения преобразователем, находящимся на некотором расстоянии от дефекта;

- оценить, возможна ли регистрация волны напряжения с такой амплитудой системой, обладающей неким амплитудным порогом, который определяется уровнем акустических шумов;

- проанализировать уровень акустических шумов, которые обязательно присутствуют в заводских условиях и тем более при работе контролируемой конструкции;
- оценить возможность интеграции (сбор, передача, обработка и хранение информации) в существующую/проектируемую распределенную систему управления (PCY).

Наиболее прогрессивным техническим воплощением метода акустической эмиссии на данный момент является комплектная установка Sensor Highway II, поставляемая фирмой Physical Acoustic Corporation. Структура данной системы включает в себя всю иерархию устройств от полевых датчиков до станции оператора и станции инжиниринга. При этом установка предназначена для создания необслуживаемых систем мониторинга состояния оборудования промышленного предприятия и имеет возможность интеграции в PCY.

Использование на существующей установке такого комплексного решения позволит добиться значительного прогресса в выполнении самого важного условия работы технологического объекта – повышения уровня безопасности.

С.45. КОМПЛЕКСНАЯ ДИАГНОСТИКА ГИБОВ КОТЕЛЬНЫХ И ПАРОПРОВОДНЫХ ТРУБ

Дубов А.А., Миляев А.И., Ларин В.В., ООО «Энергодиагностика», Москва, Россия

В статье представлена методика контроля гибов котельных и паропроводных труб с использованием магнитной памяти металла (МПМ). Данная методика контроля гибов была согласована с Главтехуправлением Минэнерго 25.02.1991 г. и с Госгортехнадзором России 26.02.1993 г. В результате практического внедрения данной методики был накоплен значительный положительный опыт, свидетельствующий об эффективности контроля гибов с использованием метода магнитной памяти металла в сочетании с ультразвуковой дефектоскопией (УЗД) и с анализом структуры металла, полученной с реплик, взятых из зон концентрации напряжений (ЗКН).

Обследование выполняется в режиме экспресс-контроля с использованием специальных сканирующих устройств. На рис. 1 представлена схема контроля изгиба трубопровода, а на рис. 2 показано сканирующее устройство, позволяющее выполнять контроль наиболее повреждаемой поверхности изгиба (растянутая и нейтральные зоны) за один проход вдоль всей длины изгиба. При этом никакой подготовки поверхности изгиба не требуется (только снятие изоляции). Контроль выполняют два оператора, один из которых перемещает

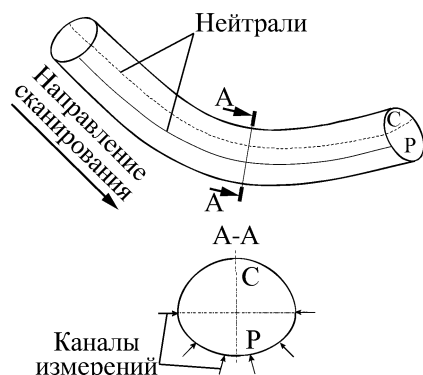


Рис. 1. Схема контроля изгиба трубопровода:
С – сжатая зона; Р – растянутая зона



Рис. 2. Многоканальное сканирующее устройство для контроля гибов и трубопроводов

вдоль поверхности изгиба сканирующее устройство с датчиками измерения магнитного поля H_p , а другой следит за изменением поля H_p на экране прибора. В случае превышения поля H_p и его градиента (dH_p/dx) определенных предельных значений для данного типоразмера изгиба сканирование останавливается, и в зоне зафиксированной «магнитной аномалии» на поверхности изгиба с точностью до 1 мм делается отметка мелом или фло-мастером. Соответствующая отметка делается в формуляре контролируемого узла. При наличии у оператора достаточного опыта контроль гибов может выполнять один оператор.

Количественные значения поля H_p и его градиента для наружной и внутренней поверхности разные. Такие магнитные параметры, характеризующие предельное состояние металла (начало развития повреждения), получены в ходе промышленных исследований для каждого типоразмера изгиба и марки стали. Установлено, что магнитные параметры, характеризующие предельное состояние металла, разные для низкотемпературных и высокотемпературных гибов.

Далее рассматриваются примеры контроля гибов котельных и паропроводных труб в сочетании с УЗД и металлографическим анализом структуры металла.

С.46. ФИЗИЧЕСКИЕ КРИТЕРИИ ОЦЕНКИ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ МАТЕРИАЛОВ И ЭЛЕМЕНТОВ КОНСТРУКЦИЙ

Власов В.Т., Дубов А.А., ООО «Энергодиагностика», Москва, Россия

Многолетний экспериментально-практический опыт, накопленный в процессе разработки и практического применения метода магнитной памяти при диагностике различных объектов, выявил и доказал объективность «несоответствия» реальных значений физических параметров внутренних напряжений «привычным» предельным значениям механических характеристик, например пределу временной прочности.

Результаты теоретических исследований закономерностей распределения физических деформаций позволили объяснить наблюдаемые «несоответствия» и доказали ошибочность известного критерия оценки истинного состояния материала в локальных зонах развивающегося повреждения по степени близости к справочным предельным механическим характеристикам материала. Собственно это давно известно, поскольку по изменению формы деформированного образца можно легко судить о неравномерности распределения деформаций на образце. Однако это не позволяло говорить о количественных соотношениях деформаций в разных областях образца. Нам удалось решить эту задачу.

Исследования деформационно-силовых характеристик 97 образцов различных сталей и сплавов показали, что значения предельных внешних удельных сил, приведенных к областям неравномерного и равномерного деформирования, будут заметно отличаться от средних значений для всего образца. Если же говорить о деформациях при растяжении образцов, то средние значения деформаций в областях неравномерного и равномерного деформирования значительно отличаются от справочных значений относительных деформаций материала при временной прочности. При этом в локальных областях значения деформаций будут отличаться уже на порядки! А это значит, что критерии предельного состояния, полученные при простых механических испытаниях образцов, не могут отражать предельное состояние материала и, тем более, предельное состояние элемента конструкции. Но чтобы осознать это, необходимо преодолеть укоренившееся представление о внутренних напряжениях и вспомнить, что те напряжения – «сигмы», к которым мы все

так привыкли, не являются напряжениями: это внешняя удельная сила, приложенная к образцу конкретной формы и меняющая внутренние напряжения, это условный эквивалент внутренних напряжений!

Только разобравшись в физике процесса сопротивляемости материала деформированию, можно понять, что такое внутренние напряжения, как и где они возникают. Здесь на помощь приходит известное из механики разрушения понятие структурный элемент – элементарный объем, в котором и происходят характерные изменения материала при его деформировании.

Противодействуя внешнему воздействию, материал использует собственную энергию, затраты которой можно оценить по работе внешнего поля – деформационно-силовым параметрам, которые выражаются двумя полными тензорами второго ранга (силовым и деформационным) или двумя парами линейных (симметрических) и вращательных (кососимметрических) тензоров. Заметим, что потеря кососимметрического вращательного тензора в теории сопротивления материалов привела к глубоко ошибочному представлению о существовании «главных напряжений» и «главных деформаций». Ни теоретически (если, конечно, не допустить ошибки), ни в реальных условиях нельзя найти такую «площадку, на которой отсутствовали бы сдвиговые силы» и вращательные моменты! Это проще понять физически: энергия материала складывается из двух, практически равных по величине составляющих – потенциальной (электростатической), определяющей «отталкивание» атомов, и квантовой, определяющей «стягивание» атомов. А отсюда следует, что при любом воздействии на материал, в любой его области всегда «работают» оба поля – квантовое (притяжения) и потенциальное (отталкивания). Так вот, пара кососимметрических тензоров, которую «сопромат» потерял, как раз и описывает затраты квантовой составляющей внутренней энергии материала на сопротивление внешнему воздействию.

Совершенно очевидно, что прогнозирование возможных сроков безопасной эксплуатации элементов реальных «стареющих» конструкций (основной вариант развития разрушений) по результатам диагностики НДС материала с использованием тарифовочных зависимостей, полученных при простых механических испытаниях образцов, без оценки времени или скорости развития усталостного разрушения в конкретном объекте и в конкретных условиях, не просто бесполезно, но крайне опасно!

Полученные результаты исследований закономерностей распределения физических деформаций прямо указывают на необходимость разработки новой нормативной документации, регламентирующей проведение аттестации средств диагностики напряженно-деформированного состояния конструкционных материалов и методик «настройки» средств диагностики НДС.

С.47. НОРМАТИВНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ МОНИТОРИНГА СОСТОЯНИЯ ОПАСНЫХ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ОБЪЕКТОВ

Костюков В.Н., Науменко А.П., Бойченко С.Н., Костюков Ал.В.,
НПЦ «Динамика», Омск, Россия

Безопасность при эксплуатации оборудования опасных производственных объектов обеспечивается путем мониторинга его технического состояния. Системы мониторинга используют различные методы технической диагностики и неразрушающего контроля. Совместное применение этих методов для контроля технического состояния является весьма сложной задачей по причине необходимости разработки комплекса диагностических параметров, опирающихся на различные параметры различных физических процес-

сов. С другой стороны, различные виды объектов требуют специальных решений по выбору методов диагностики и используемых диагностических параметров. Существующая нормативная и методическая база в виде стандартов ИСО определяет общие подходы решения задач мониторинга [4, 5, 6, 7] как путем измерения вибрации [1, 2, 3], так и путем измерения параметров различных процессов [8, 9, 10, 11].

Многолетний опыт разработки, внедрения и эксплуатации систем мониторинга агрегатов и комплекса агрегатов опасных производственных объектов в реальном времени без их остановки, разборки и вывода из эксплуатации [12, 15] позволил разработать требования к системам мониторинга [20]. Общие технические требования «Системы мониторинга агрегатов опасных производственных объектов» (СА 03-002-04) разработаны НПЦ «ДИ-НАМИКА» и ассоциацией «Ростехэкспертиза» и приняты в качестве стандарта ассоциации, а также стандарта Научно-промышленного союза «РИСКОМ». После утверждения данного стандарта ассоциацией документ был согласован с Ростехнадзором и Ассоциацией нефтепереработчиков и нефтехимиков. Таким образом, сегодня в России впервые в мире действует нормативный документ, определяющий требования к комплексным системам мониторинга, предназначенным для оценки технического состояния (диагностики) и прогноза ресурса оборудования опасных производственных объектов в реальном времени без их остановки, разборки и вывода из эксплуатации.

Впервые в нормативном документе дано более полное, в отличие от [1], не имеющее двусмысленной интерпретации определение понятия мониторинга технического состояния, под которым подразумевается наблюдение за техническим состоянием агрегата или комплекса агрегатов (конструкции, машины, узла, механизма) для определения и предсказания момента их перехода в предельное состояние. Результат мониторинга представляет собой совокупность диагнозов составляющих его агрегатов, субъектов агрегатов, получаемых на неразрывно примыкающих друг к другу интервалах времени, в течение которых состояние комплекса или агрегата существенно не изменяется. Данное понятие коренным образом отличается от понятия мониторинга параметров, которое подразумевает наблюдение за какими-либо параметрами (вибрацией, температурой и т.д.). Результат мониторинга параметров представляет собой совокупность измеренных значений параметров, получаемых на неразрывно примыкающих друг к другу интервалах времени, в течение которых значения параметров существенно не изменяются. Таким образом, принципиальным отличием мониторинга состояния от мониторинга параметров является наличие в первом интерпретатора измеренных параметров в термины технического состояния – экспертной системы поддержки принятия решения о состоянии объекта и дальнейшем управлении.

Весьма важным является определение понятия системы мониторинга состояния оборудования, под которым понимается система (машина), чьим продуктом является текущая информация о техническом состоянии оборудования и его опасности с необходимыми комментариями (прогноз остаточного ресурса, предписания на неотложные действия персонала и т.д.) и заданным риском.

Система мониторинга (СМ) должна обеспечивать получение информации о состоянии оборудования (объекта мониторинга) в необходимом количестве и качестве для обеспечения наблюдаемости его технического состояния. По результатам наблюдения СМ должны заблаговременно вырабатывать управляющие воздействия, которые обеспечивают необходимый запас устойчивости технологической системы, качество ее функционирования, создают требуемый запас ее техногенной, экологической и экономической безопасности.

Стандартом [20] впервые определяются требования к категориям опасности оборудования:

– оборудование первой категории, занимающее ключевые позиции в технологическом процессе и определяющее безопасность производства, внезапный отказ которого мо-

жет привести к техногенной аварии (взрыву, пожару) и/или существенному снижению технико-экономических показателей производства;

- оборудование второй категории, занимающее второстепенные позиции в технологическом процессе и влияющее на безопасность производства, внезапный отказ которого может привести к снижению безопасности и технико-экономических показателей производства;

- оборудование третьей категории, решающее вспомогательные задачи.

В [20] также впервые определены требования к системам мониторинга с точки зрения риска пропуска внезапного отказа, под которым подразумевается совокупность рисков пропуска своевременного распознавания опасного состояния оборудования, вызванного тем, что неисправное состояние оборудования система воспринимает (диагностирует) как исправное, пропуска своевременного распознавания опасного состояния оборудования, вызванного тем, что период мониторинга (диагностирования) превышает интервал развития неисправности от момента ее обнаружения до предельного состояния оборудования, и влияния человеческого фактора, обусловленного несвоевременным выполнением персоналом предписаний системы мониторинга по устранению обнаруженного системой опасного состояния оборудования. В зависимости от категории опасности оборудования и риска пропуска отказа выбирается класс системы мониторинга.

Мониторинг состояния машинного оборудования основывается на вибродиагностике. Нормативно-методическое обеспечение мониторинга состояния базируется на ряде стандартов серии ИСО 10816. Однако данные стандарты, как и многие другие, например, стандарт, касающийся требований к средствам измерений вибрации машин с возвратно-поступательным и вращательным движением [13], не отвечают современным требованиям как по номенклатуре измеряемых параметров, так и по параметрам средств измерений. Кроме того, требования стандартов серии ИСО 10816 и [13] в части характеристик измеряемых вибропараметров противоречат требованиям стандартов [2, 3].

Коллективом специалистов НПЦ «Динамика» разработаны эксплуатационные нормы вибрации центробежных насосных и компрессорных агрегатов опасных производств, которые являются не только более широкими в части номенклатуры измеряемых параметров, в частности оценка состояния агрегата производится по виброускорению, виброскорости, виброперемещению, но и по скоростям изменения этих вибропараметров [21].

Большая работа проводится в части мониторинга состояний поршневых машин, в частности поршневых компрессоров (ПК) потенциально опасных производств. Учитывая требования [19], разработаны и внедрены системы мониторинга состояния ПК [17], произведено нормирование вибропараметров [14], разработана методология диагностирования ПК [16, 18], что обеспечивает безопасную эксплуатацию около 40 ПК на ряде предприятий нефтегазоперерабатывающего, химического комплекса.

Стандарты СА 03-001-04 [21] и СА 03-002-05 [20] рекомендованы Ростехнадзором для применения экспертными, проектными организациями и промышленными предприятиями в качестве нормативных документов при выборе и применении систем для предотвращения техногенных аварий и обеспечения безопасной ресурсосберегающей эксплуатации оборудования по фактическому техническому состоянию.

Литература

1. **ISO 13372.** Condition monitoring and diagnostics of machines: Vocabulary.
2. **ISO 13373-1.** Condition monitoring and diagnostics of machines: Vibration condition monitoring. Part 1: General procedures.
3. **ISO 13373-2.** Condition monitoring and diagnostics of machines: Vibration condition monitoring. Part 2: Processing, analysis and presentation of vibration data.

4. **ISO 13374-1.** Condition monitoring and diagnostics of machines. Data processing, communication, and presentation: Part 1: General guidelines.
5. **ISO 13374-2.** Condition monitoring and diagnostics of machines. Data processing, communication, and presentation: Part 2: Data processing.
6. **ISO 13374-3.** Condition monitoring and diagnostics of machines. Data processing, communication, and presentation: Part 3: Communication.
7. **ISO 13374-4.** Condition monitoring and diagnostics of machines. Data processing, communication, and presentation: Part 4: Presentation.
8. **ISO 13379.** Condition monitoring and diagnostics of machines. General guidelines on data interpretation and diagnostics techniques.
9. **ISO 13380.** Condition monitoring and diagnostics of machines. General guidelines on using performance parameters.
10. **ISO 13381-1.** Condition monitoring and diagnostics of machines. Prognostics. Part 1: General guidelines.
11. **ISO 17359.** Condition monitoring and diagnostics of machines. General guidelines.
12. **Костюков В.Н., Бойченко С.Н., Костюков А.В.** Автоматизированные системы управления безопасной ресурсосберегающей эксплуатацией оборудования нефтеперерабатывающих и нефтехимических производств (АСУ БЭР) / под ред. В.Н. Костюкова. М.: Машиностроение, 1999. 163 с.
13. **ГОСТ ИСО 2954-97.** Вибрация машин с возвратно-поступательным и вращательным движением. Требования к средствам измерений.
14. **Костюков В.Н., Науменко А.П.** Нормативно-методическое обеспечение мониторинга технического состояния поршневых компрессоров // Контроль. Диагностика. 2005. № 11. С. 20–23.
15. **Костюков В.Н.** Мониторинг безопасности производства. М.: Машиностроение, 2002. 224 с.
16. **Костюков В.Н., Науменко А.П.** Практические основы виброакустической диагностики машинного оборудования: учеб. пособие / под ред. В.Н. Костюкова. Омск: Изд-во ОмГТУ, 2002. 108 с.
17. **Костюков В.Н., Науменко А.П.** Система контроля технического состояния машин возвратно-поступательного действия // Контроль. Диагностика. 2007. № 3. С. 50–59.
18. **Науменко А.П.** Методология виброакустической диагностики поршневых машин / Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Специальный выпуск. Серия Машиностроение. М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2007. С. 85–95.
19. **ПБ 03-582-03.** Правила устройства и безопасной эксплуатации компрессорных установок с поршневыми компрессорами, работающими на взрывоопасных и вредных газах. Утверждены постановлением Госгортехнадзора России от 05.06.2003. N 61.
20. **Системы мониторинга** агрегатов опасных производственных объектов: общие технические требования: СА 03-002-04. Стандарт ассоциации «Ростехэкспертиза». Серия 03. М.: Химическая техника, 2005. 42 с., согласованный Федеральной службой по экологическому, технологическому и атомному надзору РФ письмом № 11-16/219 от 1 февраля 2005 г.
21. **Центробежные насосные** и компрессорные агрегаты опасных производств. Эксплуатационные нормы вибрации: СА 03-001-04. Стандарт ассоциации «Ростехэкспертиза». Серия 03. М.: Химическая техника, 2005. 25 с., согласованный Федеральной службой по экологическому, технологическому и атомному надзору РФ письмом № 11-16/219 от 1 февраля 2005 г.

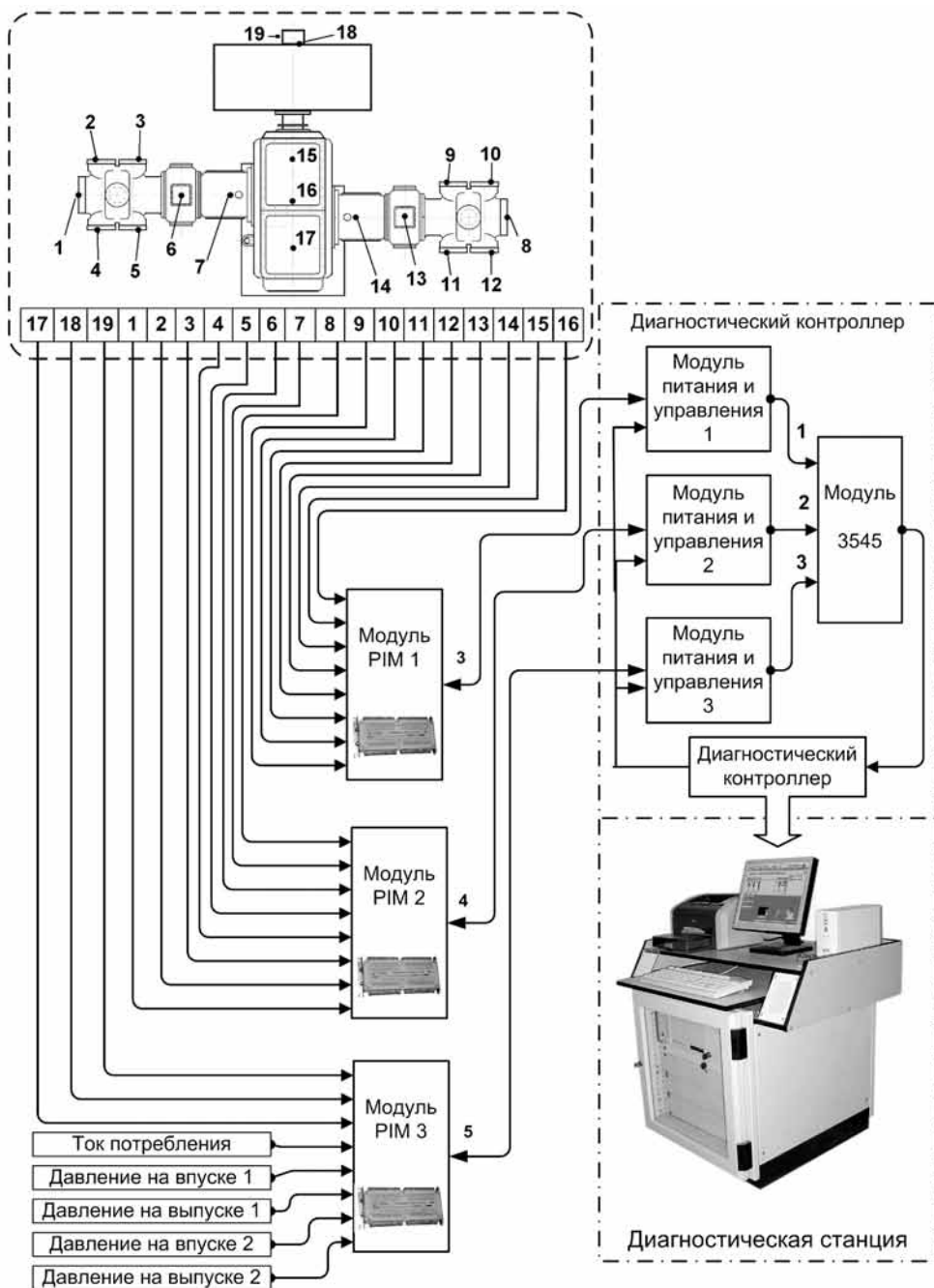
С.48. ПРОГРАММНО-АППАРАТНЫЕ СРЕДСТВА ДИАГНОСТИКИ И МОНИТОРИНГА СОСТОЯНИЯ ПОРШНЕВЫХ МАШИН

Костюков В.Н., Науменко А.П., *НПЦ «Динамика», Омск, Россия*

Практическая реализация систем мониторинга состояния поршневых машин (ПМ) и, в частности, поршневых компрессоров (ПК) производств нефтегазохимического комплекса (НХК) требует создания программно-аппаратных средств, отвечающих современному уровню развития науки и техники в области измерительных технологий, а также удовлетворения требований по обеспечению безопасной эксплуатации объектов мониторинга и самих систем во взрывопожароопасных зонах. Поэтому разработка программно-аппаратных средств систем мониторинга состояния ПМ НХК, удовлетворяющих и требованиям стратегии минимальной стоимости систем и обеспечивающих создание автоматизированных систем управления безопасной ресурсосберегающей эксплуатацией в рамках всего предприятия, является актуальной задачей.

Современный уровень развития информационно-измерительной техники дает возможность организовать сбор и обработку данных синхронно и асинхронно по множеству каналов с привязкой к углу поворота вала в заданном диапазоне частот – от долей и единиц герц до нескольких мегагерц. Учитывая, что скорость развития неисправностей ограничена, исходя из необходимого периода опроса измерительных каналов [2], наиболее целесообразным для обеспечения мониторинга состояния центробежных и поршневых компрессоров представляется использование последовательно-параллельной распределенной структуры системы. В последние годы широкое распространение получила автоматическая система мониторинга оборудования нефтеперерабатывающих и нефтехимических производств КОМПАКС® [1], которая отвечает всем требованиям [6], реализующая стратегию минимальной стоимости систем диагностики и мониторинга и обеспечивающая создание автоматизированных систем управления безопасной ресурсосберегающей эксплуатацией в рамках всего предприятия.

Структура системы мониторинга состояния динамического оборудования КОМПАКС, включая центробежные и поршневые машины, приведена на рисунке. Стационарная система мониторинга КОМПАКС® [1, 2] включает в себя диагностическую станцию (ДС) с комплектом аппаратуры, обеспечивающим: измерение параметров любых физических величин, передачу измеренной и обработанной информации в диагностическую сеть COMPACS-Net через модем или сетевое оборудование, вывод речевой информации по результатам работы экспертной системы поддержки принятия решений и по дальнейшему управлению, сохранение информации по результатам работы системы, сохранение и отображение трендов диагностических признаков, взрывобезопасность полевой сети и другие функции. В диагностическую станцию может передаваться информация из персональной системы автоматической диагностики COMPACS-Micro и контрольно-сигнальной аппаратуры КОМПАКС®-КСА. Сервер диагностической сети обеспечивает автоматическую подготовку и передачу данных в блок ТОРО ERP систем планирования ресурсов предприятия. Диагностическая станция стационарной системы позволяет принимать аналоговые (в полосе частот до 25 кГц) и цифровые данные и выдавать цифровые управляющие сигналы по 8192 дифференциальным каналам. Полевая сеть содержит измерительные модули (РІМ) с функцией аналого-цифровой обработки измеренных сигналов и датчики различных физических величин, обеспечивая радиус сбора информации о состоянии оборудования не менее 1500 м, в том числе во взрывоопасной зоне. Для мониторинга состояния оборудования в зависимости от решаемых диагностических задач используются такие параметры, как: виброускорение, виброскорость, виброперемещение, температура, давление, осевой сдвиг,



Структура системы КОМПАКС мониторинга поршневых компрессоров

радиальный зазор, ток потребления, частота вращения вала, уровень жидкости (конденсата), акустико-эмиссионный сигнал, ток потребления, параметры переменного, постоянного тока (например, сигнал 4...20 мА), параметры переменного, постоянного напряжения и др.

Многолетний опыт разработки систем мониторинга оборудования, а также исследования параметров виброакустических (ВА) сигналов, позволил разработать не только принципы построения систем мониторинга и диагностики, но и методологию диагностирования ПМ [2, 3, 3].

Анализ значений параметров ВА-сигналов по углу поворота вала, т.е. частотно-временная селекция сигналов, позволяет увеличить точность постановки диагноза. Разработанные нормы и предельные значения параметров ВА-сигналов надежно определяют состояние машины [4]. Эти нормы также имеют градации Д (допустимо), ТПМ (требуется принятия мер) и НДП (недопустимо). Частотно-временная селекция сигналов и синхронная обработка существенно помогают обнаружить фундаментальные причины отказов и неисправностей.

Экспертная система проводит анализ параметров ВА-сигнала и при достижении порогов ТПМ или НДП окрашивает параметр соответственно в желтый или красный цвета, выводит на экран диагностической станции текстовое сообщение и через акустический канал – речевое сообщение рекомендательного характера о принятии необходимых мер для снижения значения параметра.

Программно-аппаратные возможности системы КОМПАКС® позволяют проводить спектральный анализ ВА-сигналов и их огибающих. Экспертная система для анализа спектральных составляющих обычно использует 16 384 линии спектра сигнала. Имеется возможность вычислять точные значения оборотной частоты и проводить гармонический анализ, что особенно важно для поршневых машин, в ВА-сигнале с которых обычно присутствуют гармонические составляющие, кратные частоте вращения вала. Выделение огибающей ВА-сигнала с датчиков, установленных на различных узлах ПМ, особенно эффективно при ее синхронизации с угловым положением коленчатого вала. При этом используются специально разработанные алгоритмы, позволяющие получать сигнал, несущий максимально возможную информацию о состоянии узлов и деталей ПМ.

Система КОМПАКС® сохраняет тренды измеряемых параметров сигналов и диагностических признаков. Экспертная система проводит анализ скорости изменения трендов, абсолютные значения которых нормированы для различных параметров сигналов и диагностических признаков, и выдает соответствующие предписания персоналу [2].

В настоящее время система КОМПАКС® [5] диагностирует состояние около 40 ПМ 10 типов на опасных производствах в городах Ангарске, Астрахани, Ачинске, Омске, Саратове, Сызрани и др.

Литература

1. **Костюков В.Н., Бойченко С.Н., Костюков А.В.** Автоматизированные системы управления безопасной ресурсосберегающей эксплуатацией оборудования нефтеперерабатывающих и нефтехимических производств (АСУ БЭР – КОМПАКС®) / под ред. В.Н. Костюкова. М.: Машиностроение, 1999. 163 с.
2. **Костюков В.Н.** Мониторинг безопасности производства. М.: Машиностроение, 2002. 224 с.
3. **Костюков В.Н., Науменко А.П.** Практические основы виброакустической диагностики машинного оборудования: учеб. пособие / под ред. В.Н. Костюкова. Омск: Изд-во ОмГТУ, 2002. 108 с.
4. **Костюков В.Н., Науменко А.П.** Нормативно-методическое обеспечение мониторинга технического состояния поршневых компрессоров // Контроль. Диагностика. № 11. 2005. С. 20–23.

5. Костюков В.Н., Науменко А.П. Система мониторинга технического состояния поршневых компрессоров нефтеперерабатывающих производств // Нефтепереработка и нефтехимия. Научно-технические достижения и передовой опыт. 2006. № 10. С. 38–48.

6. Системы мониторинга опасных производственных объектов. Общие технические требования: СА 03-002-05: Стандарт ассоциации. Серия 03. М.: Компрессорная и химическая техника, 2005. 42 с.

7. Науменко А.П. Методология виброакустической диагностики поршневых машин. // Вестник Московского государственного технического университета им. Н.Э. Баумана. Спец. вып. Сер. машиностроение. М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2007. С. 85–94.

С.49. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ВИХРЕТОКОВОГО КОНТРОЛЯ ТИПА НАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ ЛОПАТОК ТУРБОМАШИН

Устинов И.К., *Московский государственный университет приборостроения и информатики, Москва, Россия*

В работе показано, что при определении напряженного состояния поверхностного слоя металлоизделий проводниковым вихретоковым преобразователем векторный потенциал поля реакции вихревых токов содержит информацию о его величине во всех трех составляющих: A_x , A_y , A_z . Для измерения этих компонентов предложены три варианта построения вихретоковых преобразователей (ВТП), позволяющие контролировать напряженное состояние.

1. Параметрический или трансформаторный ВТП, измеряющий компоненту поля реакции A_y . При этом возбуждающее поле также содержит эту компоненту вектор-потенциала.

2. Трансформаторный ВТП с взаимно-ортогональными обмотками, измеряющий компоненту A_x векторного потенциала поля реакции изделия. Возбуждающее электромагнитное поле не содержит компоненту A_x .

3. Трансформаторный ВТП с ортогональными обмотками, измеряющий компоненту A_z вектор-потенциала поля реакции. Возбуждающее поле также не содержит эту компоненту потенциала.

В двух последних случаях преобразователи не будут реагировать на объект контроля с изотропными электрофизическими свойствами. Появление сигнала в их измерительных обмотках свидетельствует о наличии анизотропии электрофизических свойств материала.

Для первого варианта ВТП расчет вносимых параметров можно выполнить, используя известную методику, предложенную Ю.К. Федосенко.

Более сложной задачей является задача вычисления вносимых параметров для второго и третьего вариантов ВТП. Алгоритм расчета для этого случая можно представить в следующем виде.

1. Расчет компоненты A_y вектор-потенциала поля реакции объекта.

2. Вычисление компоненты A_x вектор-потенциала по реакции из уравнения Гельмгольца. При этом компонента A_y как в металле, так и в воздухе полагается известной, т.е. найденной в пункте 1.

3. Вычисление компоненты A_z из второго уравнения Гельмгольца.

Эти уравнения могут быть решены только численными методами, поскольку векторные потенциалы A_x , A_z – сложные функции координат X и Z .

4. Определив вектор-потенциал A_x , рассчитываются вносимые напряжения по известным формулам.

Предложенный подход может быть использован и для расчета других типов ВТП напряженного состояния, например проходных преобразователей.

С.50. ОБ ОСОБЕННОСТЯХ ЧИСЛЕННОГО РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ МАГНИТНОГО КОНТРОЛЯ ОБЪЕКТОВ СЛОЖНОЙ ГЕОМЕТРИЧЕСКОЙ ФОРМЫ

*Остапушенко Д.Л., Луганский государственный медицинский университет,
Луганск, Украина*

Магнитный метод неразрушающего контроля (ММНК) занимает одну из ведущих позиций при выявлении дефектов ответственных деталей подвижного состава железнодорожного транспорта [1, 2]. ММНК подвергается широкий перечень деталей вагонов и локомотивов, такие как: зубчатые колеса, шпиндели клапанов, шейки коленчатых валов и т.д. На качество контроля существенное влияние оказывает тип намагничивающего устройства и расположение его относительно детали, а также способ регистрации информационного магнитного поля в области предполагаемого дефекта.

Так, например, при контроле зубчатых колес используется намагничивающее устройство в виде электромагнита с подковообразным ярмом, полюса которого приставляются к вершинам двух расположенных рядом зубьев [1]. При этом легко выявляются трещины на боковой поверхности зубьев, расположенные параллельно оси колеса. Трещины, перпендикулярные оси, практически не препятствуют прохождению магнитного потока и выявление их затруднительно, и в этом случае для намагничивания следует воспользоваться электромагнитом, полюса которого приставляются к торцовым поверхностям зуба. Таким образом, схема контроля должна быть построена так, чтобы она могла позволить обнаружить наиболее часто встречающиеся и трудно выявляемые дефекты, а также, по возможности, оценить степень их опасности и возможность дальнейшей эксплуатации детали.

Часто приходится использовать несколько способов намагничивания для выявления различно расположенных дефектов. При разработке и настройке рабочих параметров оборудования для ММНК существенное значение имеет возможность моделирования процесса контроля на компьютере. Однако построение адекватной модели представляет собой нетривиальную задачу, так как на исследуемый процесс оказывает заметное влияние целый ряд физических факторов, без учета которых невозможно надеяться на достоверность получаемого результата.

Объект контроля представляет собой ферромагнитное тело, имеющее сложную геометрическую форму, которое находится во взаимодействии с намагничивающим устройством и первичными преобразователями. Ферромагнетики имеют ярко выраженные нелинейные магнитные свойства, которыми нельзя пренебречь, поскольку деталь при контроле, зачастую, намагничивается до состояния насыщения.

Намагничивающие устройства являются источником магнитного поля со сложной пространственной конфигурацией, достаточно эффективный расчет которой требует применения численного интегрирования, специальных функций и других, порой, достаточно сложных приемов. Модели первичных преобразователей используются для расчета их выходных сигналов после того, как изучена конфигурация магнитного поля в зоне контроля.

Наиболее перспективным методом расчета магнитного поля в присутствии ферромагнитных тел с учетом их нелинейных магнитных свойств в неограниченных расчетных областях является метод пространственных интегральных уравнений (ПриУ). Применение данного метода для рассматриваемой задачи имеет ряд существенных особенностей. Так, например, размеры дефекта, как правило, малы по сравнению с размерами самого объекта контроля. Поэтому при дискретизации ПриУ в окрестности дефекта для более детального его представления следует использовать элементарные объемы меньшего размера по сравнению с теми, которые применяются для представления иных частей исследуемого тела.

Этот прием также позволяет уменьшить число неизвестных в системе нелинейных уравнений, к которым в результате дискретизации сводятся ПриУ. При линеаризации этой системы нелинейных уравнений возникает СЛАУ с вещественной несимметричной плотно заполненной матрицей большого порядка. Основной проблемой при решении таких СЛАУ является то, что плотно заполненная матрица не может быть целиком расположена в оперативной памяти компьютера, и ее элементы приходится располагать на внешнем запоминающем устройстве, с которым организуется обмен информацией в процессе решения.

В случаях, когда применение итерационных методов решения СЛАУ, являющихся менее требовательными к объему доступной оперативной памяти, становится невозможным, приходится использовать прямые методы, при реализации которых взаимодействие с внешним носителем должно гармонично сочетаться с выбранным методом решения, в результате чего удастся уменьшить время, затрачиваемое на передачу информации.

Автором разработан программный комплекс, предназначенный для моделирования процесса контроля деталей сложной геометрической формы магнитным методом. В ходе его разработки были учтены описанные выше особенности. Программное обеспечение позволяет путем постановки вычислительных экспериментов осуществить выбор схемы контроля оптимальной с точки зрения возможности выявления дефектов заданного типа. Тем самым сокращается время разработки устройств ММНК, а также уменьшаются затраты на дорогостоящие эксперименты с реальными объектами контроля и изготовление опытных образцов магнитных систем.

Литература

1. Геккер В.В. Руководство по магнитному контролю деталей локомотивов. М.: Трансжелдориздат, 1953. 156 с.
2. Ергучев Л.А. Магнитные методы и средства неразрушающего контроля деталей железнодорожного подвижного состава. Гомель: УО «БелГУТ», 2005. 90 с.

С.51. АКУСТИЧЕСКИЙ МЕТОД ОЦЕНКИ ПОВРЕЖДЕННОСТИ МЕТАЛЛОВ, ПОДВЕРГАЕМЫХ СИЛОВОМУ НАГРУЖЕНИЮ

Мишакин В.В., Кассина В.В., Наумов М.Ю., Мишакин С.В.,
Нижегородский филиал Института машиноведения РАН, Нижний Новгород, Россия

В работе представлены результаты исследования влияния пластического деформирования и усталостного разрушения на параметры распространения упругих волн для ряда сталей.

Разработана феноменологическая теория, связывающая поврежденность сплавов с акустическими параметрами, отражающими процесс формирования текстуры деформации и накопления микродефектов. Учитывая то, что скорость накопления повреждений зависит от способности материала к релаксации микронапряжений за счет микропластических деформаций, а также то, что микропластические деформации приводят к изменению кристаллографической текстуры, выравниванию микронапряжений (уменьшению их дисперсии) и изменению скорости накопления микроповреждений, для оценки скорости накопления повреждений при пластическом деформировании было предложено выражение

$$d\psi_{CT} = K_{1\psi} \left[1 - K_{2\psi} \frac{dA_1(\varepsilon)}{d\varepsilon} - K_{3\psi} \left(\frac{dA_1(\varepsilon)}{d\varepsilon} \right)^2 \right] dE(\varepsilon),$$

где $\Psi_{\text{СТ}}$ – поврежденность; $dE = \sigma d\varepsilon$ – изменение плотности механической энергии, затрачиваемой на деформирование материала; $K_{1\psi}$, $K_{2\psi}$, $K_{3\psi}$ – коэффициенты для данного материала; $\frac{dA_1(\varepsilon)}{d\varepsilon}$ – функция, выражающая изменение ориентации кристаллов вследствие произведенной пластической деформации и отражающая влияние микропластических деформаций на скорость накопления повреждений; A_1 – параметр акустической анизотропии A_1 , линейно связанный с коэффициентом W_4^{20} функции распределения ориентировок (ФРО) кристаллов в поликристаллическом материале $A_1 = KW_4^{20}$ (W_4^{20} – коэффициент ФРО); σ – напряжение; ε – пластическая деформация.

Восстановление кривой упрочнения $\sigma(\varepsilon)$ с помощью метода динамического внедрения индентора и измерения параметра акустической анизотропии позволяют оценить кинетику накопления повреждений и изменение ресурса.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского Фонда Фундаментальных Исследований (грант № 06-08-00520 и грант №06-02-17158).

С.52. ВЕЙВЛЕТ-АНАЛИЗ МАГНИТНОГО ПОЛЯ ДЕФЕКТА СПЛОШНОСТИ В ФЕРРОМАГНИТНОМ ИЗДЕЛИИ

Мужицкий В.Ф., Бакунов А.С., Шлеин Д.В., ЗАО «НИИИИ МНПО «Спектр», Москва, Россия, Загидулин Р.В., БашГУ, Уфа, Россия

Преобразование Фурье широко применяется при анализе и интерпретации сигналов электромагнитных дефектоскопов от дефектов сплошности в стальных изделиях, несмотря на то что оно наиболее оптимально при исследовании периодических сигналов. Применение вейвлетного преобразования наиболее эффективно при исследовании сигналов, в которых отсутствует ярко выраженная периодичность и характерна неоднородность как по амплитуде, так и по частоте. К этому же типу сигналов можно отнести сигналы от полей дефектов сплошности в стальных изделиях. В отличие от Фурье-преобразования, вейвлетное преобразование сравнительно недостаточно проработано как в научном, так и в прикладном отношении. С этой точки зрения представляют интерес результаты теоретических и экспериментальных исследований коэффициентов вейвлетного преобразования распределения поля дефекта сплошности в ферромагнитном изделии.

Анализ вейвлетного преобразования сигнала от поля дефекта сплошности. Сигнал преобразователя от поля дефекта сплошности в стальной пластине, форма которой описывается

$$H_x(x) = \frac{J}{2\pi} \left(\frac{z}{x^2 + z^2} - \frac{z_1}{x^2 + z_1^2} \right), \quad (1)$$

где x – составляющая напряженности магнитного поля токовой модели дефекта $H_x(x)$; J – сила линейного тока на вершинах дефекта ($J = \sigma s$); x, z – координаты точки измерения поля над дефектом; $z_1 = z + h$; s – ширина; h – глубина дефекта; σ – поверхностная плотность «магнитных зарядов» на гранях дефекта.

Рассмотрим вейвлетное преобразование магнитного поля дефекта сплошности на основе широко распространенного вейвлета Хаара. Вейвлет Хаара применяется при обработке дискретных сигналов и представляет собой функцию в виде двуполярного прямо-

угольного импульса. Подставляя функцию Хаара в формулу вейвлетного преобразования (1) для сигнала от магнитного поля дефекта сплошности, а потом в интегралы полученного выражения – известную формулу обратного вейвлетного преобразования, получаем аналитическое выражение для коэффициентов вейвлетного преобразования сигнала от x -составляющей напряженности магнитного поля дефекта:

$$WH = \frac{J}{2\pi\sqrt{a}} \left(2 \operatorname{arctg} \frac{b + \frac{a}{2}}{z} - \operatorname{arctg} \frac{b+a}{z} - \operatorname{arctg} \frac{b}{z} - 2 \operatorname{arctg} \frac{b + \frac{a}{2}}{z_1} + \operatorname{arctg} \frac{b+a}{z_1} + \operatorname{arctg} \frac{b}{z_1} \right). \quad (2)$$

Характер зависимостей коэффициентов вейвлетного преобразования Хаара является достаточно сложным, что, возможно, определяется неоптимальной формой вейвлетной функции применительно к анализируемому сигналу.

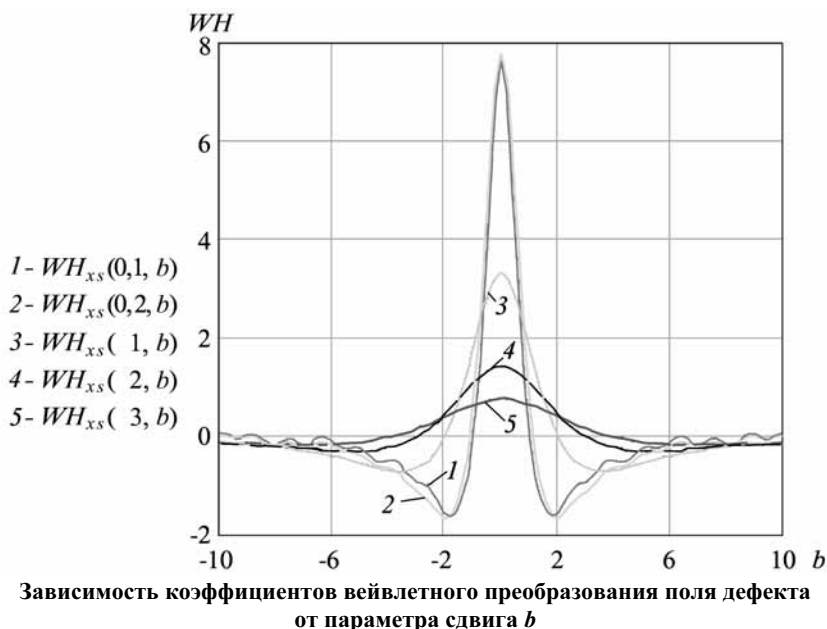
Используем оптимальную оконную функцию для спектрального анализа сигнала от магнитного поля дефекта в ферромагнитном изделии. Функции распределения x - или z -составляющих магнитного поля токовой модели дефекта могут быть также использованы в качестве материнских вейвлетных функций. Из формулы (1) для токовой модели дефекта получим следующее выражение для материнской вейвлетной функции:

$$\psi(x) = \frac{H_x(x)}{J/2\pi} = \frac{z}{x^2 + z^2} - \frac{z_1}{x^2 + z_1^2}, \quad (3)$$

Функция (3) является вейвлетом, так как удовлетворяет необходимым условиям. Определим вейвлетное преобразование сигнала от поля дефекта.

$$WH(a,b) = \frac{J\pi}{\sqrt{a}} \left[\frac{z+az}{(z+az)^2 + b^2} - \frac{z+az_1}{(z+az_1)^2 + b^2} - \frac{z_1+az}{(z_1+az)^2 + b^2} + \frac{z_1+az_1}{(z_1+az_1)^2 + b^2} \right]. \quad (4)$$

На рисунке показаны графики зависимости коэффициентов вейвлетного преобразования сигнала от поля дефекта сплошности (4) от параметра сдвига b .



Форма зависимости коэффициентов вейвлетного преобразования от масштабирующего параметра a существенно зависит от величины параметра сдвига b . При совпадении максимумов сигнала от магнитного поля дефекта сплошности и вейвлетной функции происходит существенное увеличение значения коэффициентов вейвлетного преобразования, что весьма схоже с результатами корреляционного анализа пары исследуемых сигналов. Это свойство вейвлета можно использовать для поиска поля дефекта сплошности в измеренном сигнале дефектоскопа большой длительности путем изменения величины параметра сдвига b . Заметим, что в отличие от вейвлетного преобразования на основе вейвлета Хаара зависимости, полученные для вейвлетных функций (4) на основе токовой модели дефекта, с изменением параметров a, b изменяются более монотонно. С увеличением указанных параметров после принятия экстремальных значений наблюдается сравнительно быстрое уменьшение величины коэффициентов вейвлетного преобразования, что позволяет значительно ограничить их количество при анализе исходного сигнала.

Таким образом, вейвлетная функция, полученная на основе токовой модели дефекта, оптимально подходит к форме сигнала ВТП от магнитного поля дефекта сплошности.

С.53. АНАЛИЗ СПЕКТРА СИГНАЛА НИЗКОЧАСТОТНЫХ АКУСТИЧЕСКИХ ДЕФЕКТОСКОПОВ ПРИ КОНТРОЛЕ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

Сысоев А.М., Подкопаев С.В., ЗАО «НИИИИ МНПО «Спектр», Москва, Россия

В современной аэрокосмической и авиационной промышленности широко используются композиционные материалы. Для их контроля применяется акустический метод, в котором различают импедансный метод и метод свободных колебаний. Последний хорошо зарекомендовал себя при контроле материалов с низким модулем Юнга (резиноподобные материалы). Для контроля методом свободных колебаний используются низкочастотные дефектоскопы с ударно-акустическими преобразователями и спектральной обработкой информации (амплитуды гармоник спектра сигнала сравниваются с пороговыми значениями). Применение одного порога для всех гармоник накладывает существенные ограничения на данный метод, так как разные гармоники изменяются по-разному для различных дефектов. Данное ограничение можно частично снять, ограничив полосу спектра, однако при настройке заранее неизвестно, где появится сигнал от дефекта.

В данной работе предлагается использовать для каждой гармоники свой порог. Выбор таких порогов можно проводить по разным методикам. Рассматриваются две такие методики контроля и выбора порогов отбраковки: 1) на базе среднего спектра, 2) на базе максимального и минимального спектров. Методика среднего спектра основана на предположении о нормальном распределении амплитуд отдельных гармоник. Пороги выбираются для каждой гармоники как доверительный интервал среднего значения амплитуды на бездефектном участке.

К достоинствам метода контроля по среднему спектру можно отнести следующее:

- настройка по данному методу производится на бездефектном участке, что позволяет обойтись без использования специальных образцовых дефектов;
- даже при наличии во время настройки небольших дефектов их влияние можно не учитывать за счет усреднения результатов настройки по всем измерениям;
- выбор порогов производится автоматически, исходя из гипотезы о нормальном распределении сигнала на бездефектном участке.

Методика максимального и минимального спектра состоит в предварительном поиске интервала между максимальной и минимальной амплитудами спектра для каждой гармоники на бездефектном участке. Затем этот интервал используется для определения порогов, по которым производится контроль.

К достоинствам метода максимального и минимального спектров можно отнести следующее:

- метод подходит для материалов с неоднородной структурой (наличие ребер жесткости и т.п.);
- выбор порогов производится автоматически, исходя из максимального и минимального отклонений спектра на бездефектном участке.

С.54. ТОЛЩИНОМЕТРИЯ ИЗДЕЛИЙ СО СЛОЖНЫМ ПРОФИЛЕМ

Алехин С.Г., Бобров В.Т., Ивченко В.В.*, Козлов В.Н., Самокрутов А.А., Сергеев В.А.**,
Шевалдыкин В.Г., ЗАО «НИИИИ МНПО «Спектр», ГКНПЦ им М.В. Хруничева*,
Москва, ОАО «КУМЗ» **, Каменск-Уральский, Россия

Рассматриваются задачи измерения толщины стенки изделий со сложным профилем. Описаны конструктивные особенности предложенных электромагнитно-акустических (ЭМА) преобразователей (ЭМАП). Приведены примеры использования ЭМА-толщинометрии изделий сложной формы на предприятиях космического машиностроения и металлургии.

Ультразвуковой (УЗ) контроль толщины стенки изделий со сложным профилем является одним из важнейших направлений технической диагностики авиакосмических систем, продукции трубопрокатного производства и др. К недостаткам традиционных УЗ-методов толщинометрии относятся низкая производительность и точность, наличие большого количества влияющих факторов и др., что снижает достоверность контроля. В докладе представлены результаты исследований и практического использования ЭМАП и ЭМА-толщиномера А1270 (рис. 1) [1].

Магнитная система ЭМАП была выполнена на основе постоянных магнитов из редкоземельных металлов, в частности на основе сплава неодим–железо–бор (Nd–Fe–B), что сделало возможным создание малогабаритных энергонезависимых ЭМАП совмещенного типа, обеспечивающих возбуждение и прием сдвиговых горизонтально-поляризованных волн с радиальной и линейной поляризацией и продольных волн в диапазоне рабочих частот от 2,5 до 5 МГц (рис. 2).



Рис. 1



Рис. 2

Отсутствие непосредственного контакта ЭМАП с металлом существенно снижает требования к подготовке поверхности под контроль и обеспечивает требуемую надежность и стабильность возбуждения и приема УЗ-колебаний.

ЭМА-толщиномер обеспечивает измерение толщины изделий из сплавов алюминия в диапазоне 0,5...100 мм эхометодом. Принципиальным отличием толщиномера А1270 от предшественников является применение корреляционной обработки сигналов, что позволило практически исключить влияние изменения формы и амплитуды эхосигналов на погрешность измерений.

Контроль толщины стенки крупногабаритных панелей сложной формы, предназначенных для изготовления обшивки корпуса ракеты «Протон» (рис. 3), обеспечил высокий уровень качества и надежности сложных изделий, выпускаемых Ракетно-космическим заводом ГКНПЦ им М.В. Хруничева [2]. Измерение толщины панелей с выфрезерованными ячейками проводят со стороны гладкой поверхности ЭМАП с радиальной поляризацией, остаточную толщину в ячейке – с помощью специального ЭМАП с малой апертурой. При контроле панелей важно измерять не только остаточную толщину ячеек, но и перегородок между ними, что обеспечивают ЭМАП с линейной поляризацией.

Применение ЭМАП существенно упростило технологию измерений и повысило их производительность и культуру производства. Оперативное измерение толщины стенки панелей позволяет воздействовать на весь технологический процесс производства ответственных конструкций.

Для контроля толщины стенки и разнотолщинности легких бурильных труб с переменным сечением трубопрессовый цех ОАО «Каменск-Уральский металлургический завод» также использует ЭМА-толщиномер А1270 (рис. 4) [3]. Особенностью труб являются переменный профиль, наличие внутренних и наружных утолщений. Контроль осуществлялся в нескольких диаметрально противоположных точках через определенные интервалы в определенных зонах трубы. По сравнению с использованием контактных УЗ-толщиномеров производительность контроля в условиях цеха выросла в 3 раза.

Благодаря исключению зависимости от качества акустического контакта для контроля изделий с большими поперечными размерами возможно перемещение ЭМАП в зону измерения как вручную, так и с помощью простых манипуляторов.

Важно и то, что контроль изделий можно выполнять в любом пространственном положении и с поверхности любой кривизны (выпуклой и вогнутой) с минимальным радиусом от 50 мм. Каждый цикл измерения толщины завершается при необходимости сохранением результатов в памяти прибора, которые по окончании контроля через USB-интерфейс передаются в базовый персональный компьютер для обобщения результатов контроля.



Рис. 3



Рис. 4

Выводы

1. ЭМА-толщиномер А1270 обеспечивает измерение толщины плоских, цилиндрических и сферических деталей и узлов из сплавов алюминия и регистрацию результатов контроля в условиях производства и эксплуатации изделий космического машиностроения и металлургии.

2. Толщиномер может использоваться также для диагностики степени коррозионного поражения изделий по форме и характеру ослабления многократных эхо-сигналов, анизотропии проката и измерения скорости распространения УЗК при известной толщине образцов и изделий.

ЛИТЕРАТУРА

1. Самокрутов А.А., Бобров В.Т., Шевалдыкин В.Г. и др. Применение ЭМА-толщиномера А1270 для контроля проката из алюминиевых сплавов // В мире неразрушающего контроля. 2002. № 4. С. 24–27.

2. Самокрутов А.А., Алехин С.Г., Ивченко В.В., Бобров В.Т. Промышленный контроль толщины стенки деталей обшивки корпуса ракеты «ПРОТОН» // 3-я Междунар. выст. и конф. «Неразрушающий контроль и техническая диагностика в промышленности», 17–18 марта 2004 г. Москва, ЦМТ. Программа конференции и тезисы докладов. М., 2004. С. 245.

3. Алехин С.Г., Самокрутов А.А., Сергеев В.А., Батырев В.П. Измерение толщины стенки алюминиевых бурильных труб в процессе производства с применением ЭМА-толщиномера А1270 // 17-я Рос. науч.-техн. конф. с междунар. участием «Неразрушающий контроль и диагностика». 5–11 сентября 2005. Екатеринбург. Тезисы докладов. Екатеринбург, 2005. С. 134.

С.55. ТЕПЛОВОЙ КОНТРОЛЬ БЕЗОПАСНОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИИ СИЛОВЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ КАБЕЛЕЙ И ЭЛЕКТРОПРОВОДКИ

Смирнов Ю.В., Будадин О.Н., Троицкий-Марков Р.Т., Баранов С.В., Мартынов С.А.,
*ФГУП 26 ЦНИИ МО РФ, ООО «Технологический Институт энергетических
обследований, диагностики и неразрушающего контроля «ВЕМО», Москва, Россия*

Несмотря на тенденцию снижения общего числа возгораний на всей территории Российской Федерации с 2003 по 2006 гг., обстановка по-прежнему остается достаточно тяжелой. В 2006 г. было зарегистрировано возгораний 72,3 % в жилом секторе и 27,7 % в отраслях промышленности. При этом доля материального ущерба от возгораний составляет, соответственно, 44,6 и 55,4 %.

Анализ показал, что наиболее распространенной причиной возгораний (каждого пятого возгорания – 19,2 % с долей материального ущерба по стране 31,5 %) является нарушение правил устройства и эксплуатации электрооборудования. При этом электросиловые кабели и электропроводки являются наиболее пожароопасными элементами электроустановок. На их долю приходится примерно 40 % всех возгораний, связанных с электрооборудованием и электроустройствами.

Как показал анализ, для диагностики электропроводки целесообразно использовать тепловой неразрушающий контроль, основанный на дистанционной регистрации и специальном анализе температурных полей и имеющий ряд преимуществ перед традиционными методами диагностики, используемыми в настоящее время.

В данной работе изложены результаты теоретических и экспериментальных исследований теплового контроля безопасности эксплуатации электросиловых кабелей в условиях атмосферы, расположенных в ограждающих конструкциях.

Определены размеры минимальных дефектов, выявляемых тепловым методом и оптимальные условия проведения контроля.

С.56. ДИСТАНЦИОННЫЙ ТЕПЛОВОЙ КОНТРОЛЬ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ПОЛИГОНА ТВЕРДЫХ БЫТОВЫХ ОТХОДОВ

Будадин О.Н., Троицкий-Марков Т.Е., ООО «Технологический институт энергетических обследований, диагностики и неразрушающего контроля «ВЕМО», Москва, Россия

В докладе изложены результаты разработки методики теплового контроля экологической безопасности полигона твердых бытовых отходов. Приведены результаты теоретических и экспериментальных исследований. Показаны возможности метода по обнаружению источников экологической опасности и определению их характеристик.

С.57. АВТОМАТИЗАЦИЯ РАДИАЦИОННОГО КОНТРОЛЯ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ

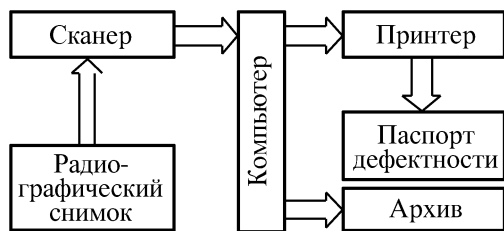
Белый Н.Г., Карманов М.Н., Шалаев В.А.,
ИЭС им. Е.О. Патона НАН Украины, Киев, Украина

В Институте электросварки им. Е.О. Патона НАН Украины исследования по автоматизации радиографического и рентгенотелевизионного неразрушающего контроля качества сварных соединений ведутся с середины 70-х годов прошлого столетия. За это время была создана серия модификаций компьютерных систем цифровой обработки для автоматизированной расшифровки радиографических и рентгенотелевизионных изображений сварных соединений применительно к промышленной дефектоскопии.

В настоящее время создана новая компьютерная система автоматизированной расшифровки радиографических пленок сварных соединений, учитывающая особенности требований к промышленному неразрушающему радиографическому контролю в Украине [1, 2]. По результатам расшифровки автоматически формируются протоколы, заключения, соответствующие выбранным нормативным документам. Предполагается адаптация и доработка этой системы применительно к рентгенотелевизионному контролю.

Проведены предварительные исследования возможности применения разработанных алгоритмов и программного обеспечения созданной компьютерной системы применительно к цифровой беспленочной технологии. Для этого использовались файлы изображений сварных соединений демонстрационной версии программного обеспечения Promis для сканирующей системы Proscan 35. Исследования подтвердили возможность адаптации разработанного программного обеспечения по цифровой обработке радиационных изображений сварных соединений применительно к беспленочной технологии.

Структурная схема системы показана на рисунке.



Структурная схема макета системы
обработки радиографических изображений
сварных соединений

Возможности комплекса:

- сканирование изображения с высокой разрешающей способностью, которое позволяет обнаруживать в том числе и трещины;
- независимое масштабирование изображений;
- непосредственное измерение длины отрезка или ломаной линии, а также периметра и площади полигона, выделенного оператором;

- инвертирование, обращение и зеркальное отображение изображений;
- запоминание произвольного количества интерпретаций обработки изображений;
- сохранение исходных и обработанных изображений, а также сопутствующей текстовой информации в компьютерной базе данных.

Положительные качества комплекса:

- простота работы с программой;
- возможность использования комплекса в лабораторных, заводских и полевых условиях;
- повышение достоверности и эффективности работы оператора;
- оперативный и гибкий доступ к электронному архиву изображений.

Литература

1. Белый Н.Г., Пономаренко В.К., Карманов М.Н., Троицкая Н.В. Новые возможности радиографического контроля // Техническая диагностика и неразрушающий контроль. 2005. № 1. С. 42–43.
2. Троицкий В.А., Пономаренко В.К., Белый Н.Г. и др. Цифровая обработка рентгеновских снимков // Мир техники и технологий. 2004. № 12. С. 18–19.

С.58. МЕТОД И ТЕХНОЛОГИЯ НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ ТРУБОК ТЕПЛООБМЕННИКОВ УЛЬТРАЗВУКОВЫМИ НАПРАВЛЕННЫМИ ВОЛНАМИ

Троицкий В.А., Бондаренко А.И., Лазебный В.С., Горбик В.М.,
ИЭС им. Е.О. Патона НАН Украины, Киев, Украина

Теплообменники широко применяются в качестве основных элементов различных теплосиловых установок. Существует огромное многообразие конструкций и типов теплообменников, трубы в которых могут отличаться материалом, длиной, диаметром и толщиной стенок.

Для сведения к минимуму вынужденных простоев из-за отказов теплообменников различного назначения в процессе их эксплуатации проводится периодический контроль трубок теплообменников методами неразрушающего контроля (НК). Основной задачей НК трубок теплообменников является не только обнаружение в них локальных дефектов, но и оценка степени поражения поперечного сечения трубки по площади и глубине с тем, чтобы определить, подлежит ли данная трубка замене немедленно или может быть оставлена до следующего очередного контроля, так как замена трубок – трудоемкое и дорогостоящее мероприятие.

Одним из основных для периодического НК трубок теплообменников является вихретоковый метод. Он позволяет локально проконтролировать каждый дефектный участок трубки и поэтому требует сканирования преобразователем по всей длине трубки теплообменника. Контроль ведется с использованием внутреннего проходного вихретокового преобразователя, закрепленного на конце гибкой штанги. Преобразователь вводится в контролируемую трубку на всю длину. Считывание информации о дефектах происходит во время движения преобразователя. Однако такая диагностика технического состояния большого количества трубок теплообменника занимает много времени. Не сокращает время контроля трубок теплообменников использование средств УЗК, волоконно-оптических эндоскопов и видеоэндоскопов.

Поэтому для диагностики трубок теплообменников необходимо найти метод контроля, который бы позволял быстрее оценить их техническое состояние. Таким методом контроля может быть метод дальнего действия низкочастотного ультразвука с

использованием направленных волн. Направленные волны способны распространяться на большие расстояния от места закрепления антенны и обладают небольшим затуханием, что позволяет по отраженным эхосигналам обнаруживать коррозионные поражения. Существенным отличием контроля трубок теплообменников направленными волнами является необходимость их ввода со стороны внутреннего отверстия трубки.

В докладе рассмотрены особенности распространения направленных волн продольной и крутильной мод при их возбуждении с помощью антенн, волновод которых вводится во внутреннее отверстие трубки теплообменника. Приведены результаты экспериментальных исследований по выявлению несплошностей в трубке теплообменника по отраженным эхосигналам направленных волн продольной и крутильной мод. Эксперименты проводились с использованием метода физического моделирования реальных дефектов путем механического изготовления в образцах трубок моделей несплошностей нескольких видов, имитирующих степень потери металла трубки в результате возникновения реальных дефектов типа эрозионного утонения и коррозионного поражения стенки трубки.

Результаты экспериментальных исследований подтвердили необходимость развития технологии диагностики технического состояния трубок теплообменников методом низкочастотного ультразвукового контроля направленными волнами.

С.59. КОМПЛЕКСНЫЙ НЕРАЗРУШАЮЩИЙ КОНТРОЛЬ СВАРНЫХ РЕЗЕРВУАРОВ БОЛЬШОГО ОБЪЕМА

Троицкий В.А., Посыпайко Ю.Н.,

Институт электросварки им. Е.О. Патона НАН Украины, Киев, Украина

Основной целью комплексного неразрушающего контроля сварных резервуаров большого объема ($5000...50\,000\text{ м}^3$) для хранения нефтепродуктов, жидкого аммиака, спиртов и других жидкостей является определение их технического состояния, возможности дальнейшей безопасной эксплуатации, сроков последующих обследований, необходимости и объема ремонта или вывода хранилищ из эксплуатации.

Комплекс работ по техническому контролю таких хранилищ включает:

- 1) визуально-оптический контроль внутренней и наружной поверхности резервуаров, выявление и оценку неровностей и деформаций стенки, днища и кровли, уточнение объемов неразрушающего контроля;
- 2) неразрушающий контроль сварных соединений и металла стенки радиационным, ультразвуковым и капиллярным видами контроля; измерения толщины листов днища, стенки и кровли с помощью ультразвуковых толщиномеров;
- 3) контроль герметичности сварных соединений днища;
- 4) изучение коррозионного состояния металлических листов днища и стенки визуальным и магнитным методами;
- 5) измерение неравномерности проседания днища путем нивелирования его окрайка и центральной части;
- 6) измерение отклонений стенки от вертикали путем ее теодолитной съемки;
- 7) проверку состояния основания, отмостки, несущих конструкций, понтона и уплотнения между понтоном и стенкой;
- 8) определение механических характеристик металла на образцах, изготовленных из вырезанного из днища образца-свидетеля со сварным швом;
- 9) металлографические исследования металла и сварных соединений стенки методом реплик, химического анализа металла;

- 10) расчет внутренних механических напряжений в металле стенки;
- 11) анализ технической документации, дефектов и отклонений от нормативов элементов конструкций резервуара;
- 12) составление обоснованного технического заключения.

Нормативной базой комплексного технического контроля резервуаров являются международные и национальные стандарты, технические регламенты, рекомендации и технические условия, действующие на предприятии заказчика.

При необходимости нами могут быть выполнены работы, выходящие за рамки приведенного перечня, например акустоэмиссионная диагностика, анализ собственных магнитных полей объекта контроля и прочее.

В Институте электросварки им. Е.О. Патона накоплен значительный многолетний опыт комплексного неразрушающего контроля резервуаров различного объема и назначения. В последние 20 лет выполнен технический контроль около 400 различных резервуаров, эксплуатируемых на предприятиях Госрезерва, Укрнефтепродукта, химических объединений «Азот», военно-промышленного комплекса.

Наш опыт и основы технологических процедур комплексного неразрушающего контроля резервуаров изложен в нашем докладе.

Тщательное техническое обследование резервуаров и технологических трубопроводов позволяет оценить их эксплуатационную надежность, разработать рекомендации по увеличению сроков их безаварийной эксплуатации, своевременно выявить дефекты и отклонения от установленных нормативов.

С.60. МАГНИТОМЕТРИЧЕСКИЙ КОНТРОЛЬ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ И КОНСТРУКЦИЙ

Троицкий В.А., Загребельный В.И.,

Институт электросварки им. Е.О. Патона НАН Украины, Киев, Украина

Одной из сложных проблем современного неразрушающего контроля (НК) качества сварных соединений является выявление зон с высокой неоднородностью напряженно-деформированного состояния, зон концентрации напряжений (ЗКН). Это важно как для оптимизации технологического процесса при изготовлении сварных конструкций, т.е. непосредственно после сварки, так и после их продолжительной эксплуатации.

Традиционная дефектоскопия ориентирована на поиск несплошностей и не учитывает напряженно-деформированное состояние металла шва и околошовной зоны. При этом, опираясь только на результаты дефектоскопии, показывающей расположение и размеры несплошностей, нельзя сформулировать причины разрушений шва. Разрушают сварное соединение повышенные напряжения, которые инициируют появление и развитие несплошности. Небольшое нарушение структуры под влиянием внутренних напряжений превращается в опасный дефект. Поэтому желательно знать о несплошности и напряженном состоянии. Относительно недавно обнаружено, что носители магнетизма – домены под действием механических напряжений перераспределяют свои магнитные поля. Это выражается в появлении магнитного рельефа на поверхности конструкции. Рельеф этого поля можно анализировать и получать информацию о состоянии отдельных зон металла. Максимальное механическое напряжение находится там, где имеет место максимальная величина производной, т.е. градиента нормальной составляющей магнитного поля на поверхности конструкции.

Так появился магнитометрический метод диагностики металла. Существо метода состоит в записи и анализе рельефа магнитного поля на поверхности конструкции, это последствие, которое проявляется в нагруженной зоне металла, сформировавшейся в процессе изготовления или продолжительного циклического нагружения. Так выявляются зоны концентрации напряжений, в которых со временем развиваются усталостные трещины.

Этот метод неразрушающего контроля основан на анализе распределения собственного магнитного поля (СМП) рассеяния на поверхности изделий. Он позволяет определять зоны концентрации напряжений.

Путем считывания СМП, сформировавшегося естественным образом в процессе сварки или эксплуатации, предоставляется уникальная возможность выполнять интегральную оценку состояния изделия с учетом неоднородности и распределения остаточных напряжений.

С.61. ПРИМЕНЕНИЕ НАПРАВЛЕННЫХ ВОЛН В УЛЬТРАЗВУКОВОМ КОНТРОЛЕ ТРУБОПРОВОДОВ

Троицкий В.А., Радько В.П.,

Институт электросварки им. Е.О. Патона НАН Украины, Киев, Украина

Рассматривается проблема использования направленных нормальных волн для выявления дефекта, коррозионного поражения и несанкционированных отводов в продуктопроводах на достаточно протяженных участках, которые находятся в труднодоступных местах: железнодорожные, автомобильные переходы, трубы в изоляции.

Управляемые (направленные) нормальные волны характеризуются небольшим затуханием, так как энергия при распространении концентрируется между нижней и верхней поверхностями пластины или внутренней и наружной поверхностями трубы. Кроме того, они способны распространяться в пределах от нескольких метров до нескольких сотен метров внутри трубы. В неразрушающем контроле трубопроводов направленными волнами используется именно их способность распространяться на большие расстояния, что позволяет инспектировать сразу от нескольких метров до нескольких десятков метров протяженных объектов. По сравнению с традиционными способами УЗК скорость дефектоскопии направленными волнами намного выше, а стоимость – ниже.

Скорость направленных волн в значительной степени зависит от диаметра трубы, толщины стенки, свойств материала, частоты и т.д., при этом образуются моды, каждая из которых распространяется с разной скоростью, в зависимости от частоты. Кроме того, высокая дисперсность определяет необходимость отличать фазовую скорость (скорость фронта гармонической волны $C = f\lambda$) от групповой скорости (скорости огибающей профиля гармонической волны).

Приведены дисперсионные кривые для 6-дюймовых труб, построенные с помощью компьютерной программы. При традиционном контроле объемными волнами скорости продольных и поперечных волн постоянны и не зависят от частоты. Для направленных волн скорость в большей степени зависит от частоты. Зависимость скорости звука от частоты называется дисперсностью, которая относится к одной из основных характеристик распространения направленных волн и вызывает немало затруднений при выполнении неразрушающего контроля. Так как для локации используются импульсные сигналы, то

при участии в процессе локации нескольких волновых процессов, характеризующихся разными скоростями распространения, наблюдаемое поле эхосигнала будет состоять из некоторого числа импульсов, воспринимаемых отдельно или накладывающихся друг на друга.

Рассмотрены возможные способы описания волновых полей в пустотелой трубе, адекватные тем или иным ситуациям, качественно рассмотрена взаимосвязь структуры внешнего воздействия с распределением энергии между разными волнами и на этой основе сформулированы рекомендации относительно способов ввода ультразвуковых сигналов в металл трубы для локации дефектов в теле трубы.

Математическая задача о волнах в трубе формулируется как краевая задача для уравнения Ламе, решение которого имеет вид

$$u(\varphi, z) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} \sum_{m=1}^{\infty} A_n(\xi_{mn}) \exp(i(m\varphi + \xi_{mn}z)),$$

где A_n – амплитуда смещений; ξ_{mn} – собственные пространственные частоты, параметр n показывает моду по окружности трубы; m – по толщине стенки.

Каждое слагаемое этой двойной суммы имеет смысл нормальной направленной волны. Этот результат и предопределяет выбор пространственной структуры внешнего воздействия. Если бы была возможность задать внешнее воздействие в виде $f(\varphi, z) = F_n \exp(i(n\varphi + \xi_{mn}z))$, то его результатом было бы возбуждение лишь одной из возможных нормальных волн.

Проверены три варианта описания распространения импульсных сигналов в стенке трубы: а) полное модовое описание; б) криволинейные лучи и толщинные моды; в) полностью лучевое описание.

При необходимости обеспечить обнаружение дефектов на больших расстояниях неизбежно приходим к использованию низких ультразвуковых частот как для уменьшения затухания, так и для того, чтобы обеспечить прохождение упругих волн через препятствия в виде конструктивных элементов (таких, например, как сварные соединения отрезков трубы). В этом случае для диаметров труб от 100 до 200 мм подходящим является представление поля совокупности нормальных волн.

В случае, когда ставится задача контроля труб на наличие в них малых дефектов, неизбежно применение достаточно высоких частот технического ультразвука. Тогда для труб со сравнительно большой толщиной цилиндрического слоя наиболее подходящей является асимптотическая модель геометрической акустики, описывающая распространение упругих волн в толще металла трубы как распространение вдоль прямолинейных лучей.

Для достаточно широкого набора промежуточных случаев выбор рабочей частоты, длительности импульса в совокупности с параметрами трубы (соотношением ее диаметра и толщины стенки) делают наиболее приемлемой модель математического описания упругих волн в трубе как распространение нормальных волн по криволинейным лучевым траекториям.

Дано описание разработанной в ИЭС им. Е.О.Патона системы ультразвукового контроля трубопроводов с использованием крутильных (торсионных) нормальных волн.

Приведены результаты экспериментальных исследований.

С.62. РАЗРАБОТКИ ИЭС ИМ. Е.О. ПАТОНА В ОБЛАСТИ КОНТРОЛЯ ГЕРМЕТИЧНОСТИ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ

Посыпайко Ю. Н.,

Институт электросварки им. Е.О. Патона НАН Украины, Киев, Украина

В отделе неразрушающего контроля качества сварных соединений ИЭС им. Е.О. Патона на протяжении многих лет наряду с другими ведутся разработки методов и средств контроля герметичности, отдел поставляет оборудование и выполняет контроль на объектах заказчика.

Первые средства контроля герметичности сварных соединений были созданы в ИЭС им. Е.О. Патона еще в пятидесятые годы прошлого столетия. Это были переносные накладные вакуумные камеры и механизированные тележки для контроля днищ и стенок сооружаемых резервуаров (ОБ-299, ОБ-599). В дальнейшем камеры совершенствовались, а область их применения расширялась: сварные соединения статора турбогенератора (ОБ-581), многослойных труб (ОБ-1898), траншейных резервуаров (НК-161). Последняя разработка в этом направлении вобрала опыт предыдущих: НК-175 – это комплект накладных вакуумных камер для контроля сварных соединений защитных оболочек, днищ и стенок резервуаров, трубопроводов и других изделий и сооружений. Такой комплект позволяет контролировать листовые конструкции с односторонним доступом к швам различной конфигурации.

На основе вакуумно-пузырькового способа созданы механизированные промышленные установки для контроля листовых заготовок резервуаров на сборочно-сварочном стане (ОБ-2278) и многослойных труб большого диаметра (ОБ-2101, ОБ-2102, НК-128, НК-130). В установке НК-130 применен эффективный способ локального жидкостного бароаквариума.

Другим направлением является разработка лабораторных стендов и промышленных установок для газоаналитических методов контроля.

В стенде ОБ-981 вакуумная камера объемом около 1 м³ позволяет контролировать масс-спектрометрическим методом разветвленные трубчатые теплообменные конструкции и другие изделия диаметром до 0,5 м. Причем пробный газ можно подавать в изделие или в камеру и, соответственно, изменять место подключения течеискателя.

Стенд ОБ-2266 предназначен для исследования методов и средств контроля герметичности многослойных труб или других крупногабаритных изделий.

Установка НК-108 создана для контроля герметичности труб длиной до 4000 мм. Она позволяет опрессовывать пробным газом полость трубы, расположенной в вакуумной камере, и регистрировать утечку газа с помощью газоаналитического течеискателя.

Установка НК-107 предназначена для контроля замкнутых вакуумированных тепловых труб и других изделий длиной до 4000 мм и диаметром до 48 мм. Контроль выполняется в две стадии: выдержка изделия в атмосфере пробного газа в камере опрессовки и регистрация утечки пробного газа из изделия в вакуумную камеру.

Универсальный стенд НК-129 создана для контроля герметичности сварных соединений изделий различными методами и представляет собой стол со стойкой с измерительными приборами и коммутирующими элементами. Он позволяет опрессовывать изделия пробным газом давлением до 2,5 МПа, а также вакуумировать изделия или приспособление с помощью наноса 2НВР-5Д. Стенд включает течеискатели ПТИ-10 и ГТИ-6.

Комплект приспособлений ОБ-2075 (16 шт) предназначен для подключения масс-спектрометрических течеискателей и средств вакуумирования к трубкам диаметром 8...16, 24...32, 40...48 мм и фланцевым окончаниям трубчатых узлов, а также для заглушения трубок.

Механизированная установка НК-201 создана для контроля герметичности штампосварных радиаторов водяного отопления и может работать в автоматизированной линии сборки и сварки радиаторов. Контроль выполняется способом опрессовки радиаторов и их погружения в жидкостную ванну (способ аквариума), но предусмотрена также возможность подключения манометрических или газоаналитических течеискателей.

С.63. РЕНТГЕНТЕЛЕВИЗИОННАЯ СИСТЕМА НА ОСНОВЕ ВЫСОКОЧУВСТВИТЕЛЬНЫХ ПЗС-КАМЕР И МОНОКРИСТАЛЛИЧЕСКИХ ЭКРАНОВ CsJ(Tl)

Троицкий В.А., Белый Н.Г., Бухенский В.Н.,
Институт электросварки им. Е.О. Патона НАН Украины, Киев, Украина

В настоящее время наиболее распространены рентгентелевизионные системы (РТК) с промежуточным преобразованием теневого рентгеновского изображения в оптическое с помощью рентгеновских экранов или рентгеновских электронно-оптических преобразователей (РЭОП), а также РТК на основе рентгеновидиконов. РТК с рентгеновскими экранами имеют ряд преимуществ перед РТК на основе РЭОП: возможность смены рентгеновского экрана, что позволяет изменять размер рабочего поля и другие параметры РТК; простота конструкции; низкая стоимость и др. Однако из-за низкой яркости свечения экранов в телевизионных камерах таких РТК используются высокочувствительные преобразователи свет-сигнал. Так, в прикладной телевизионной установке «Интроскоп» используется высокочувствительная передающая электронно-лучевая трубка изокон ЛИ-801, а в ПТУ-84 – супервидикон ЛИ-702. В последние годы в качестве преобразователей свет-сигнал в РТК, выполненных главным образом на основе РЭОП, все шире используются ПЗС-матрицы. Этому способствуют известные преимущества ПЗС-матриц перед передающими трубками (минимальные геометрические искажения за счет фиксированной геометрии раstra, отсутствие инерционности, большой срок службы и др.).

Использование монокристаллических преобразователей на основе CsJ(Tl) является предпочтительным, так как кроме высокого разрешения они имеют более высокую квантовую эффективность. В этом случае относительная чувствительность РТК будет ограничена (несмотря на высокую чувствительность ПЗС) шумами ТВ-системы.

Повысить чувствительность рентгентелевизионных систем в этом случае можно за счет накопления заряда на ПЗС-матрице. Современные ПЗС-матрицы с малым темновым током позволяют копировать заряд при комнатной температуре в течение нескольких минут, что является вполне достаточным. Например, при времени накопления около 3 с (128 кадров) соотношение сигнал/шум улучшается в 11 раз.

Программное управление режимом работы ПЗС-камерой (выбор оптимального времени накопления, динамического диапазона, передаточной характеристики) посредством компьютера позволяет получить характеристики интроскопа с монокристаллическим экраном CsJ(Tl), приближающиеся к пленочной радиографии, т.е. с относительной чувствительностью 1,5...2,0 %.

В ИЭС им. Е.О. Патона НАН Украины создано несколько вариантов опытных рентгентелевизионных систем с использованием телевизионной камеры КТ-62.013 на основе ПЗС-матрицы типа ICX-249AL и камеры VSC-746 и на основе ПЗС-матрицы типа ICX-429LL. В обоих случаях применяли монокристаллический экран на основе CsJ(Tl). Основные характеристики приемных матриц обеих телевизионных камер полностью идентичны. Работы выполнены в ИЭС им. Е.О. Патона совместно с кафедрой электронных приборов и устройств Национального технического университета «КПИ».

Экспериментальные исследования опытного образца рентгентелевизионной системы показали, что:

- рентгентелевизионная система обеспечивает чувствительность 1,5...2,0 % при просвечивании стальных образцов толщиной 10...30 мм при анодном напряжении 130...180 кВ;
- созданная рентгентелевизионная система с использованием телевизионных камер КТ-62.013 и VSC-746 в вещательном стандарте разложения с монокристаллическим рентгенооптическим преобразователем CsI(Tl) при неразрушающем контроле стальных объектов толщиной до 30 мм обеспечивает относительную чувствительность контроля не хуже относительной чувствительности контроля прикладных телевизионных установок ПТУ «Интроскоп» на изоконе ЛИ-801 и ПТУ-84 на супервидиконе ЛИ-702 и пленочной радиографии и могут быть рекомендованы для создания рентгентелевизионных систем нового поколения.

С.64. ОЦЕНКА ПОТЕНЦИАЛЬНОЙ ОПАСНОСТИ ДЕФЕКТОВ ОБОЛОЧКОВЫХ КОНСТРУКЦИЙ

Чирков Ю.А., *Оренбургский государственный университет, Оренбург, Россия*

В докладе изложены принципы обеспечения работоспособности сварных трубопроводных систем путем совершенствования методов определения дефектности металла труб и оценки их остаточного ресурса на основе идентификации дефектов и установления потенциальной опасности дефектных участков трубопроводов.

Определение технического состояния трубопроводов проводится с использованием внутритрубного диагностирования (ВТД) снарядами-дефектоскопами. Предложена обоснованная теоретическими исследованиями и подтвержденная практическими данными методика идентификации дефектов трубопроводов, позволяющая установить характерные признаки дефектов, отличить эксплуатационные дефекты от металлургических и повысить объективность оценки потенциальной опасности дефектов.

Безопасность эксплуатации дефектного участка трубопровода обеспечивается, если фактический коэффициент запаса прочности N_1 будет превышать допустимый коэффициент запаса $N_{\text{доп}}$, регламентируемый нормативными документами.

Фактический коэффициент запаса прочности N_1 определяется расчетом и уточняется по результатам натурных гидротестов дефектных участков труб $N_1 = P_{\text{раз}} / P_{\text{раб}}$.

В процессе эксплуатации объекта происходит уменьшение коэффициента запаса прочности N_1 . Это изменение характеризует различные технические состояния объекта и может быть оценено функцией желательности Харрингтона на пяти интервалах, имеющих качественные показатели: высокий, хороший, удовлетворительный, пониженный и низкий с равновероятностным попаданием в каждый интервал. На современном этапе развития мониторинга дефектного участка трубопровода используются первые три состояния из пяти, т.е. дефекты оболочковых конструкций оцениваются как неопасные, потенциально опасные, опасные. Исходя из пяти оценивающих интервалов, коэффициент запаса прочности для трубопроводов, транспортирующих сероводородсодержащие среды составляет:

- для неопасных дефектов $N_1 \geq N_{\text{доп}}$;
- для потенциально опасных $(0,6N_{\text{доп}} + 0,4) < N_1 < N_{\text{доп}}$;
- для опасных дефектов $N_1 \leq 0,6N_{\text{доп}} + 0,4$.

Функция $(0,6N_{\text{доп}} + 0,4)$ не позволяет строго установить границу интервала, но применима к любому значению $N_{\text{доп}}$, т.е. устанавливаемый предельный фактический коэффициент запаса всегда будет больше единицы.

Наиболее известным и распространенным методом оценки разрушающего давления $P_{\text{раз}}$ участков трубопроводов с коррозионными и механическими поверхностными дефектами является расчетный метод из стандарта ANSI/ASME B31G, а также его различные модификации. Сущность данного метода основана на многочисленных экспериментальных испытаниях труб с различными дефектами и получении зависимости величины разрушающего давления от длины и глубины повреждений.

Разработанная испытательная техника и методики для определения и оценки эксплуатационных свойств новых и бывших в эксплуатации основного металла и сварных соединений стальных трубопроводных систем, результаты экспериментов позволили создать модели приведения несплошностей металла стенки трубы к поверхностным дефектам и затем к оценке их потенциальной опасности.

На основе анализа результатов натурных испытаний труб при расчете разрушающего давления от окружных напряжений толщина приведенного дефектного слоя принимается равной сумме наибольшего перепада расположения несплошности по окружности трубы и половине перепада расположения несплошности вдоль трубы:

$$h_{\text{пр}} = h_{\text{ок}} + 0,5h_{\text{ос}}.$$

При протяженном металлургическом закате ($L > 0,2D$), выходящем на внутреннюю поверхность трубы на длине $L_{\text{в.ос}}$ вдоль оси трубы, толщина приведенного дефектного слоя металла стенки трубы определяется

$$h_{\text{пр}} = h_{\text{ок}} + h_{\text{ос}} - 0,5h_{\text{ос}}(1 - L_{\text{в.ос}}/L_{\text{ос}})(1 - L_{\text{ок}}/D) \text{ при } L_{\text{ок}} < D;$$

$$h_{\text{пр}} = h_{\text{ок}} + h_{\text{ос}} \text{ при } L_{\text{ок}} \geq D.$$

Если протяженный металлургический закат ($L > 0,2D$) выходит на наружную поверхность трубы на длине $L_{\text{в.ос}}$ вдоль оси трубы, толщина приведенного дефектного слоя металла стенки трубы определяется

$$h_{\text{пр}} = h_{\text{ок}} + h_{\text{ос}} - 0,5h_{\text{ос}}(1 - L_{\text{в.ос}}/L_{\text{ос}}).$$

При наличии дефекта металла трубы с признаками водородного расслоения необходимо предусматривать вероятность его вскрытия со стороны внутренней поверхности трубы с повреждением слоя металла до $1/3$ длины расслоения. Но даже при этом согласно результатам гидроиспытаний дефектных участков труб с водородными расслоениями слой металла со стороны внутренней поверхности трубы несет часть нагрузки от давления совместно с бездефектным слоем металла $t_{\text{ос}}$. Толщина приведенного дефектного слоя металла стенки трубы определяется

$$h_{\text{пр}} = h + (t - t_{\text{ос}} - h)(0,3 + 1,4L_{\text{ок}}/D), \text{ при } L_{\text{ок}} < D/2;$$

$$h_{\text{пр}} = h - t_{\text{ос}}, \text{ при } L_{\text{ок}} \geq D/2.$$

При оценке потенциальной опасности поперечных дефектных сварных соединений труб определяющими являются осевые напряжения в металле шва от внутреннего давления и изгиба участка трубопровода.

Учитывая результаты натурных испытаний труб с кольцевыми сварными швами, имеющими дефекты, коэффициент Фолиаса принимается более интенсивно изменяющимся

$$M_{\text{oh}} = 1 + 0,26(L_{\text{ф}}/\pi D) + 47(L_{\text{ф}}/\pi D)^2 - 59(L_{\text{ф}}/\pi D)^3.$$

Расчетное разрушающее давление от осевых напряжений определяется по формуле:

$$P_{\text{раз}} = 4(\sigma_s - \sigma_{zb})t / (Dk_c),$$

где k_c – коэффициент ослабления прочности сварного шва, принимаемый в пределах 1,5...2,0 в зависимости от точности определения размеров и формы дефекта; σ_{zb} – напряжения в металле труб от изгиба рассчитываются или наиболее точно определяются по радиусу кривизны трубы, который вычисляется на основании данных приборного обследования положения дефектного участка трубопровода.

Допустимое рабочее давление участка трубопровода с дефектом в кольцевом сварном шве рассчитывается по формуле

$$P_d = \frac{4t}{N_{\text{доп}} k_c D_v} \left(\frac{\sigma_s (A_{0\phi} - A_\phi)}{A_{0\phi} - A_\phi \left(1 + 0,26(L_\phi / \pi D) + 47(L_\phi / \pi D)^2 - 59(L_\phi / \pi D)^3 \right)^{-1}} - \sigma_{sz} \right).$$

Все дефекты сварных кольцевых соединений, аналогично поверхностным дефектам, подразделяются на три категории: неопасные, потенциально опасные, опасные.

ВТД выявлено на трубопроводах значительное количество дефектов труб типа вмятин и гофр, в которых возникает концентрация напряжений, приводящая к образованию трещин при циклическом изменении давления. Полученные расчетом и экспериментально коэффициенты концентрации напряжений от 2,4 до 4,1 для вмятин трубопроводов с максимальной глубиной $h/D = 3,5$ % предложено использовать для установления остаточного ресурса эксплуатации дефектных участков трубопроводов по критерию зарождения трещин малоциклового усталости. Величина исходной (накопленной) деформации определяется расчетным путем в зависимости от геометрии вмятины и количества циклов нагружения. Для уточнения характеристик металла проведены исследования и предложена методика определения накопленной усталостной поврежденности металла в области дефектов формы труб по изменению скорости прохождения поверхностной акустической волны.

С.65. ТЕПЛОВОЙ КОНТРОЛЬ БЕЗОПАСНОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИИ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ КОНСТРУКЦИЙ ПРИ ИХ НАГРУЖЕНИИ ПУТЕМ ВЫЯВЛЕНИЯ КОНЦЕНТРАТОРОВ НАПРЯЖЕНИЙ И ДЕФЕКТОВ

Котельников В.В., ФГУ НУЦ «Сварка и контроль», Будадин О.Н., ООО «Технологический институт энергетических обследований, диагностики и неразрушающего контроля «ВЕМО», Москва, Россия

Актуальной проблемой в настоящее время является оперативный контроль технического состояния сложных металлических конструкций, работающих в условиях периодических силовых нагрузок. Например, порталные и мостовые подъемные краны, железнодорожные и автомобильные мосты и т.п. Это связано со все возрастающими нагрузками на конструкции, старением материалов и др.

При нагружении металлического образца в толще или на поверхности которого имеются дефекты, в областях вблизи границ дефектов происходит пластическая деформация, сопровождающаяся выделением тепла. Распространение тепла в образце приводит к тому, что на его поверхности возникает сложное распределение температурного поля. Формально, зафиксировав это распределение и решив обратную задачу нестационарной теплопроводности, можно восстановить распределение источников тепла, а следовательно, и определить положение и размер дефекта.

Таким образом, возможно использование теплового контроля для диагностики таких конструкций.

В данном докладе рассмотрены вопросы разработки методики теплового контроля металлических конструкций в реальных условиях их эксплуатации, в том числе в условиях их механических нагрузжений.

Проведены теоретические и экспериментальные исследования, подтвердившие возможность применения теплового контроля с использованием тепловизионной техники для выявления концентраторов напряжений по анализу температурных полей поверхности. Определены минимальные выявляемые концентраторы напряжений.

С.66. ТЕПЛОВОЙ КОНТРОЛЬ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ КОНТАКТНЫХ СОЕДИНЕНИЙ

Троицкий-Марков Р.Т., Будадин О.Н., *ООО «Технологический институт энергетических исследований диагностики и неразрушающего контроля «ВЕМО», Москва, Россия*

Рассмотрен вопрос разработки методики оперативного теплового контроля электрических контактных соединений с целью:

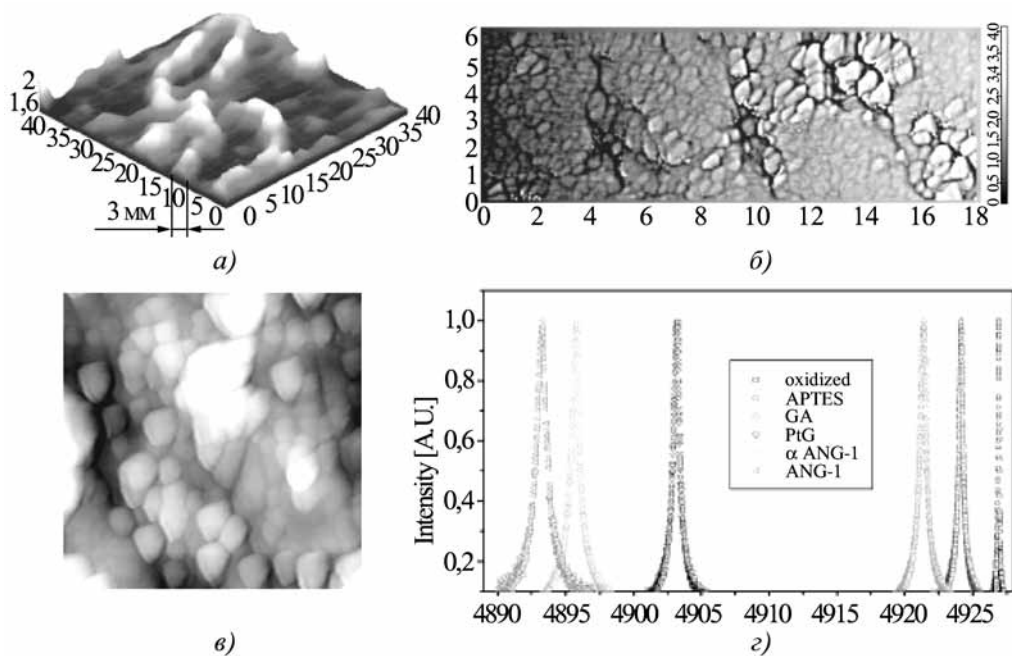
- 100%-ной объективной инструментальной фиксации фактического теплового состояния оборудования;
- выявления дефектов, оценки степени их опасности, получения прямой экспериментальной информации для оценки остаточного ресурса объекта и разработки рекомендаций по устранению дефектов и предотвращению их развития;
- выявления средствами теплового контроля случаев недостоверности сведений регламентных мероприятий и периодических испытаний на объектах проверки.
- создания компьютерного архива результатов контроля для ретроспективного анализа, мониторинга и прогнозирования технического состояния электрических контактных соединений, планирования эксплуатационных мероприятий и обновления.

Определены основные дефекты контактных соединений, возникающие как на стадии изготовления, так и в процессе функционирования. Проведены теоретические и экспериментальные исследования теплового состояния типовых контактных соединений в зависимости от их сверхнормативного электрического соединения, обусловленного наличием дефектов. Показана возможность и условия выявления дефектов контактных соединений тепловым методом с помощью тепловизионной техники.

С.67. ПРОГРАММНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС МОЛЕКУЛЯРНОЙ ДИАГНОСТИКИ

Власов А.И., Елсуков К.А., Шахнов В.А., *МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Россия*

Приведено описание возможностей программно-технического комплекса молекулярной диагностики для идентификации параметров органических объектов, представленных в виде предварительно формируемых полигонов нанокластеров. Рассмотрены методы и средства измерения масс органических веществ с точностью до 10...12, идентификации некоторых видов клеток и микроорганизмов, органических молекул и т.п. Представлено описание алгоритмов анализа полученных результатов.



СЗМ изображение:

a – ДНК (Институт биоорганической химии, Москва, Россия); *б* – СЗМ-изображение пигментированного зубного налета (МГТУ им. Баумана); *в* – СЗМ-изображение полигонов нанокластеров (Институт Триеста); *г* – пример анализа результатов измерений (Туринский политехнический институт)

Совместное использование методов сканирующей зондовой микроскопии и методов поверхностно-резонансной оптической рамановской микроскопии позволяет решить задачу диагностирования с оценкой реакций конкретных клеток, визуализацией белков, вирусов, отдельных молекул. Сканирующая зондовая микроскопия (СЗМ) стала одним из основных методов решения проблем молекулярной диагностики. С помощью атомно-силовых микроскопов задачи прямой визуализации ДНК (см. рисунок, *a*), зубного налета (*б*), отдельных вирусов, полигонов нанокластеров белков (*в*), структуры и свойств клеточных мембран решаются максимально эффективно.

Разработанный программно-технический комплекс, используя особенности как зондовой, так и оптической (рамановской) микроскопии, в сочетании с эффективными информационными методами обработки результатов измерений позволяет осуществлять следующее:

- измерение размеров оболочек и анализ свойств микрообразований на поверхности твердого тела в диапазоне от десятков микрон до долей нанометра с высокой точностью;
- оценку упругости оболочек и тем самым получение информации не только о форме, но и о внутреннем строении объектов, в том числе клеток (режим $\langle dF/dZ \rangle < F \rangle = \text{const}(x, y)$ или «простукивание» оболочки, где F – сила сканирования; Z – перемещение);
- получение изображения объектов в режимах с малым силовым воздействием на объект силой до 10...12 нН, что обеспечивает практически неискаженную информацию о биообъектах и особенностях их функционирования;

- получение комплексной информации о форме и люминесцентной способности поверхности, что позволяет определять природу неоднородностей (особенно важно для исследования органических и биоорганических соединений);
- оценку адгезионных свойств поверхностей (силы трения) в сканирующем режиме с точностью до 10^{-9} Н с пространственным разрешением в доли ангстрема;
- оценку пространственного распределения работы выхода с поверхности;
- оценку пространственного распределения магнитных и электрических силовых полей вблизи поверхности микрообъектов, в том числе в водной субфазе;
- получение пространственного распределения поверхностных состояний с разрешением в доли ангстрема;
- «биолитографию» химической структуры и валентного состояния отдельных полимеров (в том числе регулярных), отдельных молекул;
- реализацию режимов нанолитографии в части процессов адсорбции, десорбции, имплантации, полимеризации и деструкции зондом прибора;
- оценку оптических характеристик поверхности с разрешением до 10 нм в плоскости образца и доли нанометра по высоте;
- проведение спектроскопии вирусной ДНК на поверхности полигонов нанокластеров путем определения сдвига частот, характерного для каждой конкретной последовательности ДНК.

Литература

1. Clayton J. 50 Years of DNA. Palgrave MacMillan Press, 2003.
2. Madou M. Fundamentals of Microfabrication. Taylor & Francis, 2002.
3. Sarid D. Scanning Force Microscopy. Oxford University Press, 1994.

С.68. КОМПЛЕКСНАЯ СИСТЕМА ОЦЕНКИ СОСТОЯНИЯ ИНФРАСТРУКТУРЫ ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ

Тарабрин В.Ф., *Группа компаний «ТВЕМА», Москва, Россия*

Рассматриваются пути реализации «Стратегии развития железнодорожной отрасли» на основе создания комплексной системы оценки состояния инфраструктуры железных дорог и новых образцов высокотехнологичного оборудования для диагностики пути.

В рамках реализации «Стратегии развития железнодорожной отрасли» перед разработчиками и производителями железнодорожной техники ставится задача реализации перспективных инновационных проектов, связанных с расширением параметров контроля, повышением качества и точности измерений, автоматизацией обработки и расшифровки данных, развитием технологий и комплексного использования средств нового поколения для диагностики всей инфраструктуры железнодорожного транспорта.

Основным требованием к диагностическим средствам нового поколения является комплексный подход, реализующийся специалистами группы компаний «ТВЕМА» при создании систем диагностического комплекса, разрабатываемых совместно с ОАО «РЖД».

В докладе приводится информация об автоматизированных системах контроля состояния пути и его элементов, разработанных специалистами группы компаний «ТВЕМА» в последние годы. Среди них – мобильные системы комплексного контроля рельсов [1–3] и высокоскоростной диагностический комплекс контроля объектов инфраструктуры. Ис-

пользование множества подсистем контроля в рамках одного диагностического поезда позволяет получить значимые преимущества при проведении плановых проверок состояния объектов инфраструктуры:

- сокращение окон для проверок специализированными мобильными средствами и оптимизация графика движения поездов;
- уменьшение расходов на персонал средств диагностики;
- снижение количества выделяемых тяговых подвижных единиц для поездов диагностических средств;
- повышение достоверности анализа динамики развития неисправностей за счет мониторинга интегрированных данных;
- упрощение процедуры передачи результатов анализа для ликвидации неисправностей за счет использования автоматической подсистемы выдачи заданий АС-ТС;
- ведение единого архива данных различных подсистем;
- оптимизация планов текущего содержания и ремонта объектов инфраструктуры.

В последнее время в своих разработках компания все чаще использует новые ресурсосберегающие технологии, которые позволяют значительно экономить финансовые и людские ресурсы. Очередным шагом в этом направлении является создание специалистами компании новой пассажирско-технологической автомотрисы «Восток», которая соответствует современным тенденциям технической эстетики на железнодорожном транспорте и перемещается по пути со скоростью 130 км/ч. Выпуск автомотрисы будет осуществляться в нескольких вариантах комплектации в двухкабинном исполнении. Все варианты исполнений предусматривают наличие туалета с душевой кабиной. Для поддержания в кузове вагона оптимального температурного режима предусмотрена установка обогревателей и крышных кондиционеров на все помещения автомотрисы. Для отдыха экипажа предусмотрено три двухместных купе. Мощность силовой установки позволит осуществлять транспортировку дополнительной платформы с рабочим инструментом и оборудованием для путевых работ.

Для решения проблемы доставки бригад и снижения эксплуатационных расходов на контроль малодеятельных участков главного пути по программе безопасности компанией производится принципиально новая для России мобильная дефектоскопная лаборатория (ЛДМ) на базе легкового автомобиля на комбинированном ходу. В перспективе ЛДМ-1 должны взять на себя функции съемных рельсовых дефектоскопов, что в масштабах ОАО «РЖД» позволит высвободить от 600 до 1200 чел, занятых контролем рельсов в пути сегодня. В последующем компанией предусматривается оснащение лаборатории диагностики ЭМА-дефектоскопом и системой для контроля геометрических размеров рельсовой колеи.

Группой компаний «ТВЕМА» разработано и активно внедряется ресурсосберегающее программно-аппаратное обеспечение, позволяющее реализовать систему сквозного контроля рельсов. Съемные дефектоскопы-путеизмерители «СПРУТ», автомотрисы дефектоскопы-путеизмерители МТКП, вагоны дефектоскопы-путеизмерители ВДП, лаборатории дефектоскопии мобильные-путеизмерители ЛДМ-П и высокоскоростной диагностический комплекс «ИНТЕГРАЛ» осуществляют полный контроль рельсов, уложенных в путь, а измерительный комплекс «СОКРАТ» – полный контроль рельсов как новых, на металлургических комбинатах, так и старогодных в условиях РСП. Предлагаемый группой компаний «ТВЕМА» замкнутый цикл сквозного контроля, анализа и паспортизации данных о состоянии рельсовой колеи позволит существенно повысить безопасность движения и экономить финансовые и людские ресурсы.

В качестве примера современного решения задач по внедрению инновационных технологий на железнодорожном транспорте может служить работа специалистов компании, представителей ОАО «РЖД» и итальянской фирмы MER-MEC по реализации проекта создания высокоскоростного диагностического поезда для российских железных дорог.

В докладе приведены технические характеристики создаваемых систем диагностики и примеры комплексного решения задач контроля рельсового пути и оценки состояния инфраструктуры железных дорог.

В заключении отмечается, что реализация стратегии развития железнодорожной отрасли – это прежде всего объединение усилий всех участников в развитии железнодорожного транспорта.

Литература

1. **Тарабрин В.Ф.** Развитие концепции НК, технической диагностики и мониторинга рельсового пути // В мире НК. 2006. № 3. С. 67–70.
2. **Тарабрин В.Ф., Одынец С.А., Бобров В.Т., Алексеев А.В.** Принципы создания и организация эксплуатации систем технической диагностики рельсов, уложенных в пути // Контроль. Диагностика. 2003. № 2. С. 40–47.
3. **Тарабрин В.Ф., Бобров В.Т., Алексеев А.В.** Мобильная лаборатория ЛДМ-1 УЗ-диагностики, паспортизации и мониторинга состояния рельсового пути // В мире НК. 2002. № 2. С. 62–65.

С.69. АВТОМАТИЗАЦИЯ УЛЬТРАЗВУКОВОГО КОНТРОЛЯ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ БАНДАЖЕЙ НА НИЖНЕТАГИЛЬСКОМ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОМ КОМБИНАТЕ

Дымкин Г.Я., Кособоков Д.В., Шевелев А.В., Шелухин А.А., ГОУ ВПО «Петербургский государственный университет путей сообщения», Санкт-Петербург, Россия

В докладе рассмотрены особенности аппаратно-программного комплекса установки автоматизированного ультразвукового контроля УКБ-1Д в составе линии приемочного контроля бандажей Нижнетагильского металлургического комбината. Кратко дано описание требований к акустическим блокам, показана схема прозвучивания, используемая при контроле бандажей. Приведена структура и даны основные характеристики дефектоскопической части установки УКБ-1Д, выполнено описание функциональных связей между структурными элементами системы.

Отдельно рассмотрены вопросы программной реализации предварительной обработки сигналов, пользовательского интерфейса и формы представления данных ультразвукового контроля. Сделан акцент на возможность реализации автоматизированной системы поддержки принятия решения.

В разделе практического применения приведены записи сигналов от дефектов, выявленных установкой УКБ-1Д в процессе опытной эксплуатации. Материал сопровождается результатами металлографического исследования темплетов бандажей с подтвержденными дефектами.

С.70. ОСНОВНЫЕ ПРИНЦИПЫ СОЗДАНИЯ МЕТОДИК НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ

Воронков В.А., ОАО «НПО «ЦНИИТМАШ», Москва, Россия

На протяжении полувековой истории развития и активного внедрения методов ультразвукового контроля происходила эволюция понимания, что такое контроль (в отличие, например, от измерения) и какие требования должны к нему предъявляться.

В самом общем виде контроль определяется как «проверка соответствия объекта установленным требованиям» (ГОСТ 16504–81). Проверку осуществляют специалисты с применением средств контроля, а правила, регламентирующие все действия специалистов вплоть до получения результата контроля, содержатся в методиках контроля.

Исходя из определения, контроль начинается с изучения требований, предъявляемых к контролируемому объекту. Требования обычно закладываются на стадии проектирования объекта. Иногда приходится иметь дело с дополнительными требованиями, возникающими вследствие особенности эксплуатации объекта.

Требования к качеству объекта при ультразвуковом контроле должны как минимум содержать две составляющие:

- 1) признаки наличия несплошности (минимально фиксируемая несплошность);
- 2) признаки недопустимости несплошности (браковочные признаки).

Первое требование устанавливает границу, по отношению к которой судят о наличии несплошностей, это позволяет произвести настройку чувствительности дефектоскопа на поиск дефектов.

Второе требование может выступать в двух видах:

- а) как требование к максимально допустимой отражательной способности несплошности, выраженное через амплитуду эхосигнала или эквивалентный размер;
- б) как требования, связанные с геометрией и расположением несплошностей (условные линейные размеры, площадь зоны индикации, количество и взаимное расположение несплошностей).

Таким образом, первое требование является необходимым для начала контроля, а второе – для его завершения. Схематическое изображение структуры требований представлено на рис. 1.



Рис. 1

ПРОВЕРКА СООТВЕТСТВИЯ

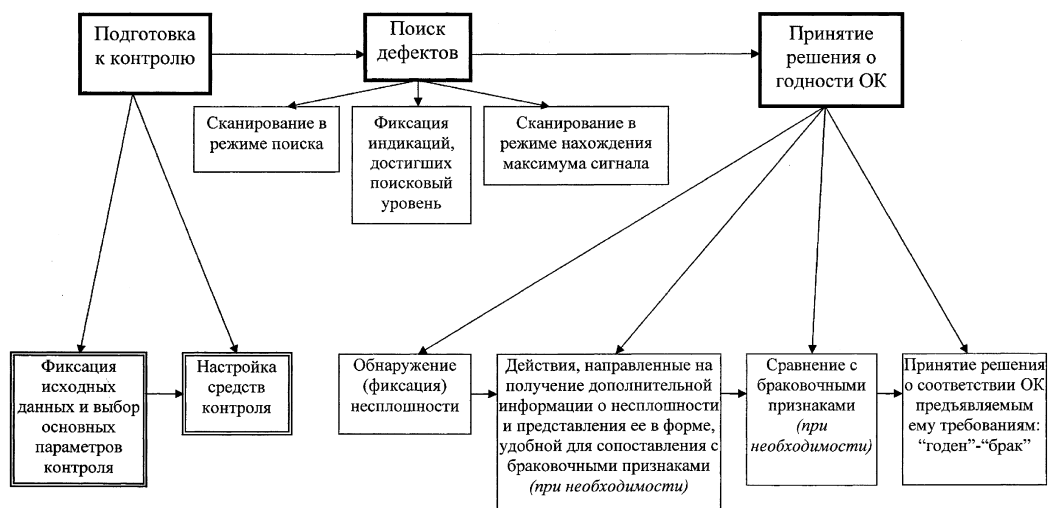


Рис. 2

Что касается «проверки соответствия», то это есть не что иное, как непосредственно процесс контроля, в котором можно выделить три основные стадии:

- 1) подготовка к контролю;
- 2) поиск дефектов;
- 3) принятие решения о годности объекта контроля.

Каждую из них можно разбить на составные части, и так далее – процедуру разбиения можно продолжить до требуемой степени детализации (рис. 2).

С.71. ВОЗМОЖНОСТИ НАВИГАЦИОННЫХ ПРИБОРОВ ПРИМЕНИТЕЛЬНО К ЗАДАЧАМ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО КОНТРОЛЯ МАГИСТРАЛЬНЫХ НЕФТЕГАЗОПРОВОДОВ

Мартынов С.А., ЗАО «НИИИИ МНПО «Спектр», Москва, Россия,
Херауф Ф., «KOVOTEST GmbH», Лангенфельд, Германия

Надежность трубопроводного транспорта зависит от качественно проведенной диагностики и правильно выбранной технической оснащенности. Как правило, это широкий набор оборудования, а также необходимое количество операторов, от каждого из которых также зависит надежность.

В докладе рассмотрены возможности использования навигационных приборов в составе диагностического оборудования при электромагнитном контроле для увеличения производительности труда.

Применение механических одометров или приборов инфракрасного излучения для дистанционного измерения при комплексном обследовании нефтегазопроводов достаточно трудоемко и имеет характерные погрешности при уточнении местоположения дефектов. Для устранения подобных недостатков в настоящее время в диагностические системы, например «MoData 2», «C-Scan 2010» и подобные, подключается навигационное оборудование, позволяющее связать позиционные данные местоположения и значения измерений

во время поиска дефектов с высокой точностью с тем, чтобы в дальнейшем быстро найти место дефекта и отремонтировать его. Удобная прямая синхронизация с GPS-временными сигналами дает возможность избежать потерь времени, необходимого для установления сложной синхронизации с основным прибором.

Представлено программное обеспечение, расширяющее область применения оборудования и позволяющее оценивать регистрируемые данные.

Полученные результаты могут быть использованы при разработке методик неразрушающего контроля состояния магистральных нефтепроводов.

С.72. ПЕРСПЕКТИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ УЗ-КОНТРОЛЯ ТРУБОПРОВОДОВ

Самокуров А.А., Шевалдыкин В.Г.,

ООО «Акустические Контрольные Системы», Москва, Россия

На современном этапе развития средств технической диагностики становится очевидной тенденция разделения функций поиска дефектов, измерения их параметров и определения ресурса на основе выполненных измерений, что требует комплексного применения различных технических средств, каждое из которых может быть оптимизировано для выполнения отдельной функции.

В докладе рассмотрены результаты исследований и разработки специализированных средств отдельно для обнаружения дефектов и отдельно для измерения параметров дефектов применительно к одному из самых распространенных типов объектов контроля – трубопроводам.

Для обнаружения дефектов предлагается использовать волноводный метод УЗ-контроля с применением технологий сухого точечного контакта и ЭМА-метода, а для измерения – томографический на базе фазированных антенных решеток.

Рассматриваются особенности этих методов, возможности и ограничения, приводятся практические результаты и описывается разработанная аппаратура.

С.73. ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРОМЕТРИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ С ЦЕЛЬЮ ПОВЫШЕНИЯ ДОСТОВЕРНОСТИ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБСЛЕДОВАНИЯ СОСТОЯНИЯ ИЗОЛЯЦИОННЫХ ПОКРЫТИЙ ТРУБОПРОВОДОВ

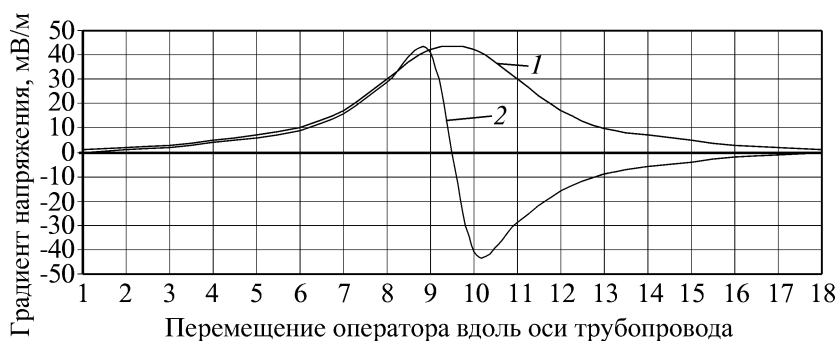
Куклев А.В., ООО «АКА-ГЕО», Москва, Россия,

Мартынов С.А., ЗАО «НИИИИ МНПО «Спектр», Москва, Россия

Традиционно обследования изоляционных покрытий трубопроводов проводят контактными электрометрическими методами с поверхности земли. При этом используется только часть информации электромагнитного поля трубопровода. Кроме того, разрешающая способность этого метода существенно зависит от местоположения дефекта на окружности трубопровода. Сравнение откликов от дефектов позволяет утверждать, что дефекты одинаковых геометрических размеров, располагающиеся на нижней образующей трубы, выявляются значительно хуже, чем на верхней образующей.

В докладе приводится сравнение электрометрических измерений и способ регистрации градиента напряжения.

Повысить достоверность этого метода можно, используя дополнительно фазу сигнала электромагнитного поля от трубопровода. Электрометрическое обследование с учетом фазы градиента напряжения позволяет оператору с большей точностью определять местоположение одиночного дефекта изоляционного покрытия даже в случае пропуска некоторого количества точек измерения.



Значение продольного градиента напряжения с учетом и без учета фазы:

1 – продольный градиент напряжения без учета фазы;

2 – продольный градиент напряжения с учетом фазы

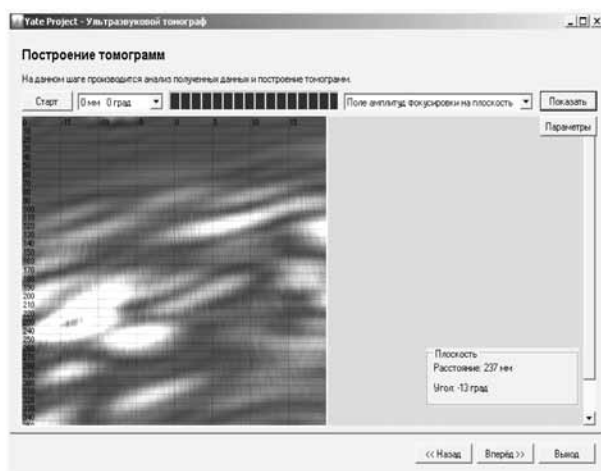
Реализуемый в нашем приборе способ регистрации градиента напряжения с учетом фазы дает возможность использовать для возбуждения электромагнитного поля трубопровода одночастотные недорогие генераторы. При этом вся мощность генератора идет на создание поискового поля. Фазовый сдвиг фиксируется в точке измерения потенциала и не подвержен постоянному сдвигу при движении оператора вдоль трубопровода (см. рисунок). Повысить эффективность обследования трубопроводов возможно при помощи бесконтактного измерения потерь тока. Главное преимущество данного способа заключается в том, что наибольшая чувствительность приходится именно на нижнюю образующую трубопровода – место, где расположены наиболее опасные дефекты. В этой области локальные повреждения изоляционного покрытия дают максимальную утечку тока, так как грунт имеет здесь более высокое значение проводимости. Использование метода потерь тока позволяет проводить не только качественную, но и количественную оценку состояния изоляционного покрытия. Как известно, затухание тока, слабо зависящее от сезонных изменений сопротивления грунта, является абсолютной мерой качества изоляционного покрытия и может непосредственно сравниваться с данными предыдущих обследований. С учетом всех приведенных требований был разработан высокоточный трассопоисковый комплект (ВТК) «Оникс», в котором используются оба метода обнаружения мест повреждения изоляционного покрытия.

Приведены результаты измерений, полученные с действующих трубопроводов, а также представлены технические характеристики комплекта.

С.74. ПРИМЕНЕНИЕ НОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ САФТ ПРИ УЗ-ТОЛЩИНОМЕТРИИ ИЗДЕЛИЙ ИЗ БЕТОНА

Тимофеев Д.В., *Московский энергетический институт (ТУ), Москва, Россия*

В докладе приводятся результаты экспериментов по ультразвуковой толщинометрии протяженных сложноструктурных изделий из бетона. Обсуждается задача и проблематика толщинометрии протяженных изделий с большим затуханием ультразвука. Анализируются ограничения, присущие методу решения данной задачи, основанному на построении по результатам экспериментов двумерного изображения контролируемого изделия – В-скана [1]. Показано, что успешное применение данного метода невозможно в ряде случаев толщинометрии сложноструктурных протяженных бетонных изделий с большим затуханием



ультразвука. В связи с чем в докладе предлагается разработанный на кафедре «Электронные приборы» МЭИ новый алгоритм получения и обработки экспериментальных данных для построения двумерных графических полей – вероятностных томограмм.

Получение экспериментальных данных для предлагаемого алгоритма производится с помощью ультразвукового линейного акустически многоканального фазированного ПЭП. Предполагается, что контролируемое изделие при этом ограничено плоскими гранями, в пространстве произвольным образом взаимно ориентированными. На одной из плоских граней контролируемого изделия в точке измерения дважды позиционируется ПЭП таким образом, чтобы продольные оси ПЭП при каждом измерении были взаимно ортогональны. В каждом из положений производится регистрация совокупности парных эхограмм по всем комбинациям излучающих и приемных элементов ПЭП. Алгоритм поиска одиночной плоскости следующий. На основе полученных реализаций создается массив $P[r, \varphi]$ для поиска плоскости по координатам дальности r и угла φ . Для каждого элемента массива $P[r, \varphi]$ (т.е. для каждого значения расстояния r и угла φ) вычисляется сумма значений сигналов по всем реализациям из массива. Затем в данном массиве находится максимальное значение и соответствующие ему угол φ и расстояние r считаются координатами найденной плоскости. Результаты поиска плоскости отображаются на трехмерной $S\varphi L$ вероятностной томограмме изделия в виде цветового поля в координатах: угол φ (ось абсцисс) – расстояние r (ось ординат) – вероятность S наличия плоскости (яркость отметки) в заданной точке пространства. Информация о координате плоскости считывается по осям (ось X – угол φ ; ось Y – расстояние r) и дублируется в правом нижнем углу экрана. На рисунке представлен $S\varphi r$ -образ этого изделия, который позволяет определить расстояние $r \approx 237$ мм и наклон $\varphi \approx 13^\circ$ плоскости по отношению поверхности контроля.

Результаты экспериментов показывают, что применение предлагаемого алгоритма сбора данных и построения двумерных вероятностных полей дает результат, соответствующий измеряемой толщине изделия с погрешностью 5...10 % и углу наклона изделий образующей поверхности с погрешностью 2...5°.

Литература

1. **Kachanov V.K., Sokolov I.V.** Application features of radio engineering signal processing methods for ultrasonic flow detection // *Nondestr.Test. Eval.* 2000. Vol. 15. P. 330–360.

С.75. РЕЗУЛЬТАТЫ ПРИМЕНЕНИЯ ПОМЕХОУСТОЙЧИВОЙ ИНТЕРПОЛЯЦИИ ДЛЯ ДИАГНОСТИКИ СОСТОЯНИЯ 4-ГО БЛОКА ЧЕРНОБЫЛЬСКОЙ АЭС ПОСЛЕ КАТАСТРОФЫ

Беляев Ю.И., Вент Д.П., Вепренцева О.Н.,
КБ «Теплофон», Новомосковск, Тульская обл., Россия

После катастрофы на Чернобыльской АЭС для обеспечения безопасности и осуществления работ по предотвращению дальнейшего заражения необходим был качественный прогноз состояния 4-го аварийного блока реактора. Поэтому первостепенной задачей являлось создание эффективной системы диагностики состояния 4-го блока, которое включало в себя решение следующих вопросов:

- где разместить датчики для контроля радиационной обстановки поврежденного реактора;
- как интерпретировать результаты диагностических исследований?

Контроль поля с помощью распределенных детекторов связывают с возможностью повышения точности при минимальном количестве детекторов. Такое направление применяется в основном в системах контроля температурных полей реакторов.

Классический многозонный (многоточечный) контроль требует установки достаточно большого количества средств измерений для надежной оценки текущей ситуации. Здесь в технологических и экологических системах на первый план выдвигается проблема размещения средств измерения, обоснование их необходимого количества, а также интерпретация большого количества зашумленной информации, полученной от первичных средств измерений. Модальные методы контроля основаны на оценке амплитуды пространственных мод поля. Существует большое разнообразие вариантов данного метода, отличающихся как способом оценки амплитуды, так и конструкцией детекторов поля, что свидетельствует о его перспективности применения в системах технологического и экологического мониторинга.

Несмотря на большое число подходов к проблеме контроля поля, можно выделить общую стратегию мониторинга: при минимальном количестве средств измерения получить качественную, надежную информацию о форме поля. Кроме этого, прослеживается явная закономерность: чем более эффективные методические средства восстановления поля применяются, тем меньше требуется реперных измерений.

Поэтому постановка задачи и цели создания помехоустойчивой интерполяции в определенной степени связаны с работой технических систем в условиях действия случайных помех.

Не теряя общности и с целью упрощения выкладок, рассмотрена задача контроля флуктуации поля по одной пространственной координате x . Предположим, что имеется n детекторов, определенным способом размещенных на отрезке от $[0, L]$ в узлах $\{x_i\}$.

Предположим, что каждое наблюдение можно представить в виде

$$\bar{y}(x_i) = y(x_i) + \xi(x_i); i = 1, 2, \dots, n, \quad (1)$$

где $y(x_i)$ – действительное значение сигнала детектора поля в точке x_i ; $\xi(x_i)$ – аддитивная погрешность измерения в точке x_i со статистическими характеристиками;

$$\begin{aligned} M\xi(x_i) &= 0; \forall i \in 1, n; \\ \text{cov}[\xi(x_i)\xi(x_j)] &= \begin{cases} 0, \forall i \neq j; \\ \xi^2, \forall i = j, \end{cases} \end{aligned} \quad (2)$$

здесь и далее M – оператор математического ожидания.

Необходимо на основе таких исходных данных построить интерполяционное уравнение вида

$$\hat{y}(x) = \sum_{i=1}^n a_i \varphi_i(x); \quad x \in [0, L], \quad (3)$$

где a_i – искомые коэффициенты; $\varphi_i(x)$ – n первых функций полной в L^2 системе полиномов, которое дает наилучшее в определенном смысле приближение к истинной функции $y(x)$ на фоне воздействия шума в узлах измерения.

Предложено для анализа влияния шума в каналах измерения использовать индекс помехоустойчивости в следующем виде:

$$\gamma_i^2 = \xi^2 \frac{\|\varphi_i(x)\|^2}{\sum_{j=1}^n \varphi_i^2(j)},$$

здесь γ_i^2 – индекс помехоустойчивости i -го многочлена.

Данный показатель зависит от дисперсии шума ξ^2 , формы i -го многочлена, количества и расстановки узлов $\{x_j\}$ и отражает степень увеличения или уменьшения погрешности контроля поля. Приводятся примеры его использования. Можно определить данный показатель как наблюдаемость i -й пространственной моды $\varphi_i(x)$ на фоне ошибок измерения в узлах реперных измерений.

Результаты предварительных исследований в процессе эксплуатации ИДК «Шатер» были дополнены данными от датчиков системы, полученными за длительный период в реальном масштабе времени. Совокупность полученных данных позволила провести предварительный анализ пространственных характеристик объекта и динамики его состояния.

Состояние объекта «Укрытие» исследовано за период июль–ноябрь 1987 г. по данным ИДК «Шатер», получаемым в реальном масштабе времени по диагностической программе SPIN, введенной в программное обеспечение ИДК.

При изучении ежедневных картограмм температурного поля в ПРК (отм. 7.9) за весь период было установлено, что конфигурация поля меняется, а зона максимума сохраняется, но максимальное значение температуры имеет значительные пульсации на протяжении 2...3 суток с периодом 10...20 дней.

Проверка объективности вывода о флуктуациях максимальной расчетной (восстановленной) температуры в ПРК была сделана с привлечением дополнительных экспериментальных данных о температуре в стене по оси 45 пом. 213/2 на глубине 745 мм, которая измерялась группой оперативной диагностики ИАЭ в период с 20 июля по 30 августа 1987 г.

Анализ динамики параметров объекта позволял сделать качественное предположение о том, что объект находился в нестационарном состоянии, а также о том, что в нем происходили процессы, связанные с изменением коэффициента размножения и подкритичности.

Обнаруженные с помощью разработанных методов контроля источники повышенного тепловыделения и высокого уровня радиации находились на расстоянии 6...10 м от ближайшего детектора, и результаты сопоставительного анализа картограмм и дополнительных экспериментов показали правильность данного подхода.

Кроме того, результаты анализа основных параметров состояния объекта позволяли предположить, что активная масса была сосредоточена между 10 и 20 отметками и находилась в неустойчивом состоянии. Однако за весь период наблюдений существенных аномальных отклонений зарегистрировано не было. Несмотря на кратковременные всплески гамма-дозы, температуры, плотности нейтронного потока, ощутимой тенденции роста температуры как основного показателя тепловыделения не замечено. Это говорило о том,

что активная масса находится в подкритическом состоянии и существует отрицательная обратная связь, препятствующая выходу объекта из подкритического состояния. Она могла быть обусловлена отрицательным температурным коэффициентом реактивности, резким испарением влаги при увеличении тепловыделения и другими причинами.

Вышеизложенное подтверждает, что разработанный для ИДК «Шатер» специальный математический аппарат на основе помехоустойчивой интерполяции и соответствующие программы SPIN, GROT, REST позволили эффективно решить задачи диагностики объекта.

С.76. ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ РАДИАЦИОННОГО ОБЛУЧЕНИЯ НА ПАРАМЕТРЫ УПРУГИХ ВОЛН

Хлыбов А.А., Углов А.Л., НГТУ, НИЦ КД, Нижний Новгород, Россия

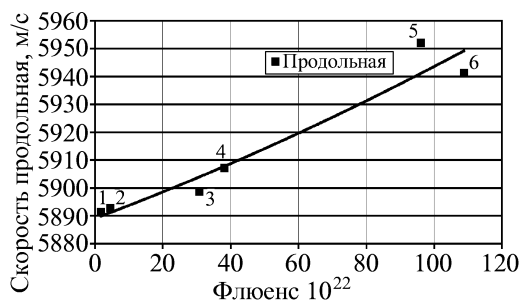
Приводятся результаты экспериментальных исследований влияния радиационного облучения на скорость распространения упругих волн.

Проблема обеспечения надежной и безопасной работы металлических конструкций с каждым годом становится все более актуальной. Конструкции подвергаются действию не только статических циклических нагрузок, но и воздействию различных температур, агрессивных сред и облучений. Это обуславливает изменение характеристик материалов, а в конечном итоге может привести к разрушению конструкции. Учесть все факторы, влияющие на работоспособность конструкции, расчетными методами не всегда представляется возможным: меняются характеристики материала, условия эксплуатации и т.д. Одним из возможных направлений решения проблемы повышения безопасности конструкции является внедрение систем диагностики, использующих методы неразрушающего контроля, в частности перспективным можно признать акустический метод, основанный на анализе упругих волн, распространяющихся в исследуемой конструкции.

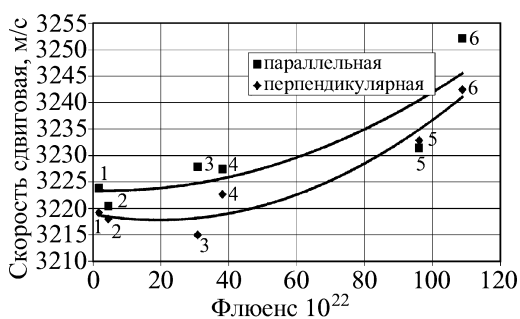
Известно, что нейтронное облучение и высокая температура приводят к значительному изменению микроструктуры и механических свойств материалов, используемых для корпуса реактора [1]. Для низколегированной конструкционной стали, применяемой для изготовления корпусов (сталь 15Х2МФА, 15Х2МФАА, сварочная проволока Св-10ХМФТ), наблюдается радиационное охрупчивание материалов. Это проявляется прежде всего в потере пластичности и заметном сдвиге температуры перехода от вязкого разрушения к хрупкому в область эксплуатационных температур, что повышает вероятность хрупкого разрушения. Однако до сих пор нет полного понимания механизма радиационного охрупчивания. Это создает трудности долгосрочного прогнозирования поведения металла корпуса и обоснования ресурса корпусов реакторов.

Одним из направлений современного решения проблемы оценки влияния облучения на материалы корпуса реактора ВВЭР-1000 и контроля за изменением состояния материала корпуса реактора в процессе его эксплуатации служит программа образцов-свидетелей. Назначение образцов-свидетелей – определение свойств материала корпуса реактора по результатам механических испытаний образцов. Образцы-свидетели изготавливаются с соблюдением всех технологий, используемых при изготовлении корпуса.

Система надзора за состоянием материала корпуса с помощью образцов-свидетелей для реакторов первого поколения не была предусмотрена. Для оценки состояния материала корпуса и определения характеристик стали, необходимых для оценки ее радиационной стойкости, непосредственно с внутренней поверхности корпуса реактора были вырезаны специальные пробы – темплеты металла, образцы мини Шарпи. Вырезаются темплеты из металла сварного шва, основного металла и зоны термического влияния.



а)



б)

Зависимость скорости продольной (а), сдвиговой (б) волн от флюенса:

1, 2 – Хмельницкая (блок 1, выгрузка 3); 3, 4 – Кольская АЭС (блоки 1 и 2);

5, 6 – Нововоронежская (блоки 3 и 4)

В данной работе приводятся результаты исследования влияния нейтронного облучения на акустические характеристики. В качестве измеряемых акустических характеристик использовалось время распространения (задержка) импульсов объемных – продольных и сдвиговых (поляризация вдоль и поперек образца) волн. Измерения проводились с помощью спектрально-акустического измерительно – вычислительного комплекса (ИВК) «АС-ТРОН» [2]. ИВК реализует акустический метод отраженного излучения (эхометод) и предназначен для генерации зондирующих сигналов и регистрации параметров отраженных упругих волн. Вся обработка информации, поступающей с датчиков, проводится автоматически в процессорном блоке. Далее задержки пересчитывали в скорости. Точность измерения толщины образцов составляет 0,005 мм.

Зависимость средних значений скоростей продольных и сдвиговых волн от величины флюенса для исследуемых энергоблоков представлена на рисунке. Усреднение проводилось по всем исследуемым темплетам для каждого блока.

Результаты акустических измерений на образцах-свидетелях (образцы типа Шарпи 10×10×55 мм), изготовленных для Хмельницкой АЭС, блок 1, показывают, что материал сварного шва и основного металла отличаются по акустическим характеристикам: скорость упругих волн для основного металла выше, чем для шва. Эти различия необходимо учитывать при создании алгоритма и методики контроля материала реактора. Материал из зоны термического влияния занимает промежуточное положение. Скорость упругих волн для металла сварного шва в состоянии поставки и образцов с низким уровнем облучения практически совпадают.

Выводы

Анализ результатов испытаний материала образцов-темплетов, вырезанных из материала корпусов реакторов типа ВВЭР-440, и образцов-свидетелей показал следующее:

- характеристики импульсов упругих волн оказываются чувствительными к величине флюенса, скорость упругих волн возрастает;
- скорости упругих волн для образцов-свидетелей (материал шва) и образцов-темплетов (материал шва) при низком уровне облучения практически совпадают;
- скорость упругих волн зависит от зоны контроля: скорость упругих волн в зоне основного металла выше, чем для сварного шва.

Литература

1. **Штромбах Я.И.** Радиационный ресурс металла корпусов действующих ВВЭР // Атомная энергия. 2005. Т. 98. Вып. 6. С. 460–472.
2. **Углов А.Л., Хлыбов А.А.** Разработка и внедрение методов спектрально-акустического контроля механических свойств и остаточных напряжений металла оборудования и трубопроводов АЭС: доклад на секции № 5 «Надежность, безопасность, ресурс и живучесть оборудования и трубопроводов атомных станций» НТС № 1 Федерального агентства по атомной энергии от 28.03.2007 г.

С.77. НОВЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ МЕТОДА АКУСТИЧЕСКОЙ ЭМИССИИ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ СЦЕПЛЕНИЯ С БЕТОНОМ АРМАТУРНЫХ СТЕРЖНЕЙ РАЗЛИЧНОГО ПРОФИЛЯ

Сагайдак А.И., НИИЖБ им. А.А. Гвоздева, Москва, Россия

В Научно-исследовательском, проектно-конструкторском и технологическом институте бетона и железобетона (НИИЖБ) им. А.А. Гвоздева было проведено сравнительное исследование характеристик сцепления стержневой ненапрягаемой арматуры с различными видами периодического профиля и диаметра. Испытания проводились по международной методике RC6ЕКБ/ФИП/РИЛЕМ и заключались в выдергивании из бетонного куба, установленного на опорной плите испытательного пресса, арматурного стержня. В процессе испытаний арматурный стержень, находящийся внутри бетонного куба с заданной длиной заделки, выдергивался за нижний конец, в то время как верхний конец стержня оставался незагруженным. В процессе испытания измерялось смещение верхнего незагруженного конца арматурного стержня, фиксировалась прикладываемая нагрузка.

Прочность и жесткость сцепления арматуры с бетоном исследовалась на образцах арматуры серповидного профиля, изготовленного по СТО АСЧМ 7-93, стержневой арматуры с ребрами кольцевой формы, изготовленной по ГОСТ 5781[3] и термомеханически упрочненной арматуры нового профиля класса А500, разработанной и запатентованной НИИЖБ. Арматура с этим новым профилем получила название А500СП и выпускается по СТО 36554501-2006 и ТУ 14-1-5526-2006 «Прокат арматурный класса А500СП с эффективным периодическим профилем. Технические условия».

Впервые в НИИЖБ для таких испытаний использовался метод акустической эмиссии. Задачами этих испытаний являлись:

- разработка методики, позволяющей оценить влияние профиля арматуры на характер распределения усилий в бетоне;
- оценка качества заделки арматуры различного профиля в бетоне;
- информативное содержание регистрируемых параметров сигналов акустической эмиссии при выдергивании из бетона арматурного стержня.

Используемые приборы, оборудование и образцы:

- акустико-эмиссионная система A-LINE 16D;
- устройство для выдергивания арматуры из бетонного куба;
- индикатор часового типа;
- бетонные кубы, изготовленные из бетона класса по прочности на сжатие В35, В50 размером 250×250×250 мм с арматурой различного профиля диаметром 12 и 25 мм.

Растягивающие усилия вызывают перемещение незагруженного конца стержня. Графики зависимости «перемещения стержня – напряжения в арматурном стержне» близки к

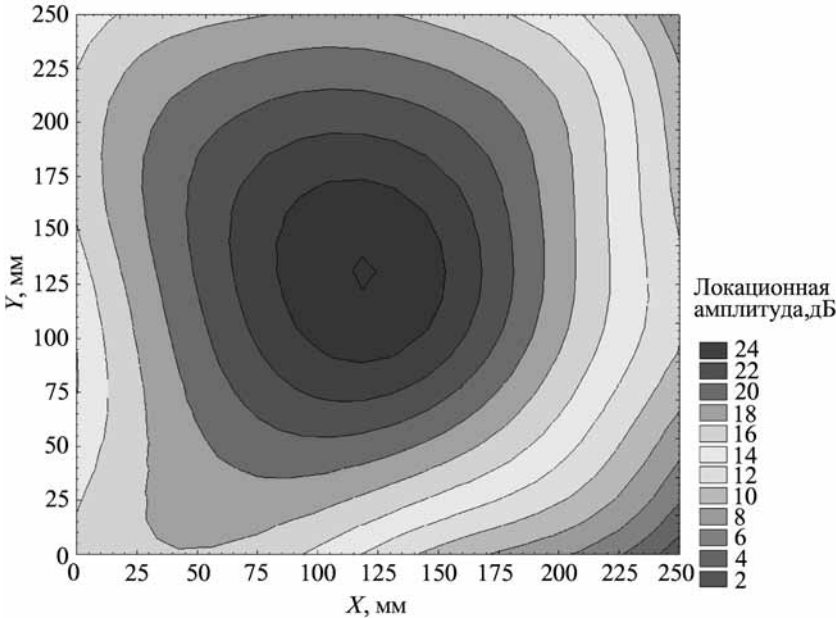
логарифмическим кривым. Смещения стержня характеризуются ростом активности и других параметров АЭ. Для оценки влияния профиля арматуры на характер выделения сигналов АЭ использовались статистические методы анализа, в том числе и графические. Для сравнительного анализа были использованы различные виды «разведочных» графиков. График строился как в двухмерном, так и в трехмерном пространстве.

В частности, на графиках зависимости «активность АЭ – время» виден различный характер проявления активности АЭ. Для образцов с арматурой А500СП характер выделения сигналов АЭ вплоть до выдергивания арматуры из бетона носит более или менее равномерный волновой характер. Для образцов с арматурой серповидного профиля виден разброс по максимальным значениям временных интервалов, в течение которых происходило испытание. Обращает на себя внимание и количество регистрируемых сигналов АЭ, которое в образцах с арматурой А500СП в несколько раз ниже, чем в образцах с серповидным профилем.

Как показал анализ, между параметрами АЭ и перемещениями стержней существует высокая корреляционная зависимость.

Локационные возможности метода акустической эмиссии позволяют с новых позиций оценивать влияние того или иного арматурного профиля на характер сцепления арматуры с бетоном. Применение объемной локации источников АЭ позволило получить трехмерные графики распределения источников АЭ в кубе. Из этих графиков видно, что источники АЭ располагаются по всему объему куба, но наибольшее количество сигналов – в центральной части, около стержня. Используя опции «фильтрации по локации», возможно получить сечения любой области куба с координатами источников АЭ и их параметры (энергия, амплитуда, длительность сигнала и т.п.). Аппроксимируя численные значения трехмерными функциями, можно определить напряженно-деформированное состояние бетона в приграничной со стержнем области. В качестве примера на рисунке показан такой график.

Такие графики впервые позволяют оценивать напряжения в глубинных слоях бетона, используя для этого возможности метода АЭ.



Изополя распределения локационной амплитуды по плоскости бетонного куба

С.78. ПРИМЕНЕНИЕ КОМПЬЮТЕРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ДЛЯ ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ РЕЗОНАНСНО-МУЛЬТИПЛИКАТИВНОГО МЕТОДА КОНТРОЛЯ ТОЛЩИНЫ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ ИЗ БЕТОНА

Авраменко С.Л., *Московский энергетический институт (ТУ), Москва, Россия*

При использовании традиционного ультразвукового эхоимпульсного метода контроля строительных конструкций (СК) из бетона [1] из-за аномально высокого затухания акустических сигналов в материале строительных конструкций не удастся уверенно контролировать изделия толщиной более 500...600 мм даже при снижении частоты зондирующего сигнала до предельных для эхометода 50...80 КГц. Применение радиотехнических методов обработки эхосигналов (с использованием сложномодулированных сигналов с последующей оптимальной фильтрацией [2]) позволяет несколько увеличить максимальную глубину контроля, примерно до 1000 мм. В связи с этим ограничением для толщинометрии протяженных бетонных СК на глубинах, превышающих этот предел, используют относительно новый импакт-эхометод [3], позволяющий измерять толщину до нескольких метров [4]. Метод основывается на вычислении спектра собственных колебаний объекта контроля (ОК) при возбуждении коротким механическим ударом по его поверхности. Однако такой способ возбуждения не лишен недостатков: во-первых, механическому удару свойственна низкая повторяемость, во-вторых, спектр вызванного им импульса имеет неидеальную форму в интересующем диапазоне частот. Оба этих фактора могут привести к искажению спектра принятого сигнала.

Эти недостатки отсутствуют в резонансном методе контроля протяженных изделий из бетонов [5], отличающимся тем, что в ОК возбуждают вынужденные колебания обычным пьезопреобразователем, излучающим гармонический сигнал с нарастающей частотой. Такой подход позволяет контролировать амплитуду излучения на каждой из частот и тем самым реализовать коррекцию АЧХ всего приемно-передающего тракта.

Область применения этих методов ограничена измерением толщины протяженных СК в форме плиты, линейные размеры которой превышают ее толщину как минимум в 5 раз. В противном случае спектр ОК становится достаточно сложным – в нем появляется множество нежелательных пиков, вызванных резонансами поверхностной, продольной и поперечной волн на различных модах. Причем амплитуда этих пиков может превышать искомый толщинный пик, частота которого является информативным параметром. Как следствие, не удастся правильно интерпретировать спектр.

В результате исследований в этой области в МЭИ был разработан новый метод контроля толщины бетонных СК – резонансно-мультипликативный метод (РММ) [6], с помощью которого возможен контроль не только плит, но и более компактных СК.

Как показывают исследования, процедура измерения толщины бетонной СК состоит из трех основных задач. А именно: определение оптимального положения излучающего и приемного пьезопреобразователей на поверхности ОК, правильная интерпретация спектральной характеристики контролируемого изделия, т.е. нахождение частоты толщинного резонанса и, наконец, вычисление толщины по найденной частоте и известной скорости акустической волны. Моделирование методом конечных элементов в программной среде ANSYS, позволяющее получить спектральную характеристику произвольной по форме СК из бетона при заданном положении источника и приемника сигнала, позволило внести ясность в решение каждой из этих задач. Во-первых, удалось установить, что амплитуда

толщинного пика сильно зависит от положения излучателя и приемника. Причем амплитуда максимальна в том случае, когда излучатель расположен в центре симметрии ОК или хотя бы вдоль одной из осей симметрии. При этом приемник сигнала рекомендуется располагать на расстоянии от излучателя, не превышающем половину предполагаемой толщины измеряемого изделия. Во-вторых, моделирование показало, что при расположении излучателя в различных точках поверхности ОК частота толщинного пика остается неизменной, в то время как частоты других пиков претерпевают некоторые изменения. Вследствие этого при перемножении нескольких спектров, полученных в различных точках поверхности, толщинный резонанс оказывается существенно больше по амплитуде, чем остальные. В результате 4–5 таких перемножений на спектре, как правило, остается только один ярко выраженный толщинный резонанс. Этот прием, получивший название мультипликативной обработки спектральных характеристик, лег в основу РММ. В-третьих, для вычисления толщины h по известной формуле $h = \frac{kc}{2f}$, где c – скорость продольной аку-

стической волны, f – частота толщинного пика, необходимо получить значение коэффициента коррекции скорости k , зависящего от формы ОК. Из теории импакт-эхо известно, что для плит $k = 0,96$. В результате моделирования были установлены значения коэффициента коррекции также для других конструкций: колонн, блоков и свай. Приведенные результаты исследований были с хорошей точностью подтверждены экспериментально на реальных бетонных СК.

Таким образом, применение метода конечных элементов при моделировании вынужденных колебаний подтвердило эффективность РММ для измерения толщины бетонных СК и позволило выработать ряд методических рекомендаций, повышающих достоверность результатов измерения.

Литература

1. **Kozlov V.N., Samokrutov A.A., Shevaldykin V.G.** Thickness Measurements and Flaw Detection in Concrete Using Ultrasonic Echo Method // *Nondestructive Testing and Evaluation*. 1997. Vol. 13. P. 73–84.
2. **Kachanov V.K., Sokolov I.V.** Application features of radio engineering signal processing methods for ultrasonic flow detection // *Nondestructive Testing and Evaluation*. 2000. Vol. 15. P. 330–360.
3. **Carino N.J.** The impact-echo method: an overview // *Building and Fire Research Laboratory National Institute of Standards and Technology Gaithersburg, MD 0899-8611 USA*.
4. **Gassman S.L., Finno R.J.** Cutoff frequencies for impulse response tests of existing foundations.
5. **Andrews D.R.** Ultrasonic resonance spectroscopy for quality assurance testing of concrete, aerospace and other industrial components / *Instrumentation Innovation Ltd., Church Farm Barn, Horse Ware, Over, Cambridge CB4 5NX, GB*.
6. **Качанов В.К., Соколов И.В., Федоров М.Б., Васильев С.А., Конов М.М., Авраменко С.Л.** Низкочастотный резонансный толщиномер бетонных строительных конструкций с пространственно-временной фильтрацией // Мат-лы науч.-практ. отчет. конф.-выст. по результатам реализации в 2004 г. Межотраслевой программы научно-инновационного сотрудничества Министерства образования и науки РФ и Федерального агентства специального строительства РФ «Наука, инновация, подготовка кадров в строительстве» на 2001–2005 гг., 7–8 декабря 2004 г. М.: МГСУ, 2004. С. 110–113.

С.79. АНАЛИЗ МЕТОДОВ И УСТРОЙСТВ ЛОКАЛИЗАЦИИ ТЕЧЕЙ В КРУПНОГАБАРИТНЫХ ИЗДЕЛИЯХ

Сажин С.Г., Мясников В.М., *Дзержинский политехнический институт НГТУ
им. Р.А. Алексеева, Дзержинск, Нижегородская обл., Россия*

По характеру получаемой дефектоскопической информации системы контроля герметичности делятся на контролирующие суммарную негерметичность изделия и способные находить место расположения течей (локализация течей). Испытаниям суммарной негерметичности подлежат малогабаритные изделия; если изделие не удовлетворяет норме герметичности, то чаще всего, исходя из экономической целесообразности, его отбраковывают и утилизируют. Локализация течей производится с целью устранения дефектов. Устройства локализации течей (УЛТ) должны определять положение места течи с высокой точностью и производительностью.

В докладе анализируются вопросы теории и методы повышения эффективности локализации течей. Системный анализ процессов локализации течей охватывает основные этапы исследования и разработки УЛТ: исследование объектов контроля (течей в изделии) по их статистическим параметрам; подача пробного вещества в полость, обращенную к стенке изделия; распределение концентрационного поля в окрестности течи со стороны области формирования утечки пробного вещества; отбор анализируемой пробы; транспортировка анализируемой пробы газообразного вещества от места течи до течеискателя; подача анализируемой пробы в течеискатель; вторичная обработка дефектоскопической информации.

В момент подачи пробного газа в изделие по схеме (воздух плюс импульс давления гелия) имеет место наложение двух явлений: парциальной акустической волны гелия и его диффузии в полости изделия. Выравнивание концентрации гелия в полости изделия в равной мере обуславливается этими явлениями.

Статистические характеристики параметров течей определяют выбор схемного решения УЛТ, технологических и режимных параметров контроля. По характеру распределения величины течи устанавливается чувствительность контроля, скорость сканирования шупа или чувствительного элемента, выбор схемы подачи, анализируемой пробы в течеискатель (прямоточная или противоточная). Взаимное расположение течей (суперпозиция течей) и величины течей лимитируют область усреднения анализируемой пробы или использование одновременного сканирования двух чувствительных элементов, реализующих дифференциальную схему измерения.

Важным фактором надежности работы УЛТ являются стабилизация и усиление концентрационного поля утечки пробного газа в окрестности течи. По этой причине концентрационное поле целесообразно формировать в мембране, подбирая такие ее свойства, чтобы они обеспечивали эффективность выбранного метода контроля. Мембрана используется в кинематических условиях (способна перемещаться относительно поверхности изделия) или в статическом положении. Для этих целей можно использовать как жидкие, так и твердые или композиционные мембраны. Для масс-спектрометрического метода в условиях транспортировки анализируемой пробы от мембраны к течеискателю в режиме молекулярного течения целесообразно применять сшитые капилляры с селективными свойствами по отношению к пробному газу в пористую структуру мембраны. Такая мембрана выполняет одновременно функции шупа и области накопления утечки. Наложенный над мембраной слой, выполненный из газонепроницаемого материала, исключает рассеивание утечки и способствует увеличению чувствительности контроля. Обдув граней мембраны газом, не содержащим пробного, позволяет снизить уровень фонового компонента

дефектоскопического сигнала. Положительная роль мембранного метода в процессе формирования утечки не ограничивается газоаналитическими методами регистрации пробного газа, его успешно можно распространить и на другие методы.

Отбор пробы может осуществляться конвективным или диффузионным методами. По характеру усреднения концентрации пробного газа в анализируемой пробе УЛТ реализуют локальные, поверхностные и объемные методы.

Транспортировку анализируемой пробы от течи до течеискателя осуществляют по капилляру с установкой дросселя на входе в течеискатель, при этих условиях в капилляре должен иметь место вязкостный режим течения. Если анализируемая проба подается к течеискателю по трубопроводу, то необходимо обеспечить молекулярный режим, для этого дроссель располагается на входе трубопровода.

Вторичная обработка дефектоскопической информации реализуется моментами n -го порядка и имеет две цели. С одной стороны, по ним определяют величину течи и место ее расположения, а с другой – отделяют ложные сигналы с течеискателя, так как совокупность и величина их моментов не удовлетворяют значениям моментов модели дефектоскопического сигнала.

На основе проведенного анализа получен системный подход вопросов теории и разработки методов, которые повышают эффективность функционирования устройств локализации течей.

С.80. НОВЫЕ АЛГОРИТМЫ ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННОЙ ОБРАБОТКИ СИГНАЛОВ ПРИ УЗ-ТОЛЩИНОМЕТРИИ ИЗДЕЛИЙ ИЗ БЕТОНА

Качанов В.К., Соколов И.В., Родин А.Б.,
Московский энергетический институт (ТУ), Москва, Россия

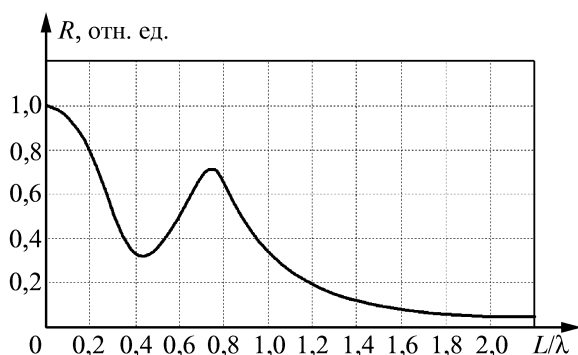
Проблема выделения УЗ-эхосигналов из коррелированной с зондирующим сигналом помехи – структурного шума является одной из главных проблем помехоустойчивого УЗ-контроля сложноструктурных изделий. В докладе приведены некоторые результаты разработки алгоритмов выделения эхосигнала из смеси его со структурным шумом. Показано, что УЗ-эхосигнал от дефекта можно считать обнаруженным, если его максимальное значение превышает пороговый уровень $E_{\text{порог}} \approx 3\sigma$, где σ – эффективное значение структурного шума. Другими словами, при отношении сигнал/шум $C/\text{Ш} \approx 3$ сигнал может быть уверенно зарегистрирован, так как вероятность обнаружения сигнала превышает 98 %. Тем самым для выделения сигнала из структурного шума (для достижения $C/\text{Ш} > 3$) необходимо обеспечить порядка 10 статистически независимых реализаций эхосигналов, что не всегда удается осуществить при одноканальных методах, так как энергетический спектр структурного шума достаточно хорошо совпадает с энергетическим спектром зондирующего сигнала и эхосигналов, их автокорреляционные функции (АКФ) совпадают по форме, различаясь только дисперсией. Степень взаимной корреляции двух реализаций структурного шума оценивают с помощью нормированной взаимно-корреляционной функции (ВКФ) $r_{xy}(t_1)$. При $r_{xy}(t_1) = 1$ можно говорить о том, что пара сигналов полностью коррелирована, как в случае зондирующего сигнала и эхосигнала от дефекта. Показано, что различие характеристик структурного шума и эхосигнала от дефекта может быть положено в основу временных, частотных и пространственных методов выделения эхосигнала из структурного шума.

Частотная декорреляция основана на различии спектров «полезного» эхосигнала и структурного шума при наличии выраженной зависимости коэффициента передачи ЭАТ

от частоты. В этом случае в каждой реализации регистрируемого сигнала существуют различия в спектрах структурного шума и эхосигнала от дефекта. Алгоритм частотной декорреляции использовался в рамках Государственной экспертизы при УЗ-дефектоскопии больших Кремлевских колоколов на звоннице Ивана Великого в 1996 г. и колоколов Храма Христа Спасителя в 1998 г. и заключался в изменении несущей частоты в разных посылках УЗ-зондирующего ФМ-сигнала при неизменном положении широкополосного мозаичного ПЭП ($f_0 \approx 600$ кГц, $\Delta f/f_0 \approx 100\%$) в каждой точке контроля. Структурный шум для каждого из парциальных зондирующих сигналов со средними частотами $f_1 \dots f_N$ имел различный характер по сравнению с донным эхосигналом.

В докладе сделан акцент на особенностях многоканальной пространственно-временной обработки сигналов при УЗ-контроле сложноструктурных изделий, позволяющей в отличие от одноканальных методов выделять эхосигнал из структурного шума при отношении $C/\Sigma \ll 1$. В докладе говорится о том, что даже применение дифференциально-двухканального способа контроля изделий с значительными структурными неоднородностями позволяет повысить достоверность контроля [1]. В случае пространственно-протяженного дефекта эхосигналы от него совпадают во времени, т.е. полностью коррелированы, а эхосигналы от неоднородностей структуры статистически независимы и потому не коррелированы. Если эхосигнал от дефекта присутствует в каждом из N каналов, то при сложении N реализаций амплитуда эхосигнала возрастает в N раз, а шум – не более чем в $N^{1/2}$ раз. Показывается разница алгоритмов ПВО для решения задачи выделения эхосигнала из структурного шума и решения задачи построения томограммы изделия с высоким уровнем структурного шума, где основной целью является не выделение эхосигнала из структурного шума, а построение УЗ-изображения контролируемого изделия. Уменьшение апертуры L ПЭП или снижение частоты контроля $\lambda_2 > \lambda_1$ приводит к расширению ДН и к росту амплитуды структурного шума, причем структурный шум в соседних каналах оказывается сильно коррелированным. Степень корреляции зависит не только от числа и размеров структурных неоднородностей в материале изделия, но и от шага сканирования d . Увеличение d уменьшает корреляцию реализаций структурного шума, но снижает достоверность УЗ В-скана. При УЗ-томографии сложноструктурных изделий следует находить компромисс между требованиями повышения достоверности В-скана, для чего d следует выбирать меньше $\lambda/2$ и минимизации степени взаимной корреляции реализаций структурного шума, что достигается при $d \geq$ радиуса корреляции r_k .

Одновременное присутствие структурного шума объекта контроля и белого шума аппаратуры приводит к тому, что оптимальная обработка должна совмещать в себе и пространственную и временную (частотную) фильтрацию, что и определило название метода –



пространственно-временная обработка (ПВО). В докладе показано, что для оптимизации алгоритма ПВО сигналов необходимо знание АКФ и ВКФ структурного шума на соседних датчиках ПЭП или соответствующие им энергетические спектры. Экспериментально полученная зависимость амплитуды максимума ВКФ структурного шума соседних датчиков ПЭП от расстояния d приведена на рисунке. Ее анализ позволяет выработать рекомендации по выбору расстояния d между ПЭП ФАР. Так, для минимизации значения отношения С/Ш при эхоимпульсной дефектоскопии расстояние между датчиками в ПЭП должно быть $d \approx (1,5 \dots 2)\lambda$, а при томографии для формирования достоверного В-скана расстояние между элементами ПЭП (шаг сканирования) d должно быть выбрано $d \approx \lambda/2$ [2, 3].

Литература

1. **А.с. 1249449 СССР.** Устройство ультразвукового эхоконтроля изделий / Аксенов В.П., Волосский В.П., Родин А.Б. // Б.И. 1986. № 29.
2. **Качанов В.К., Соколов И.В.** Проблемы ультразвукового контроля протяженных сложноструктурных изделий с большим затуханием сигналов // Дефектоскопия. 2007. № 9. С. 71–86.
3. **Качанов В.К., Карташев В.Г., Соколов И.В., Туркин М.В.** Проблемы выделения ультразвуковых сигналов из структурного шума при контроле изделий из сложноструктурных материалов // Дефектоскопия. 2007. № 11. С. 47–62.

С.81. МАЛОАПЕРТУРНЫЕ ШИРОКОПОЛОСНЫЕ МОЗАИЧНЫЕ ПЬЕЗОЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ

Качанов В.К., Соколов И.В., Родин А.Б.,
Московский энергетический институт (ТУ), Москва, Россия

Пьезоэлектрические преобразователи являются необходимым элементом многофункционального аппаратно-программного комплекса помехоустойчивого контроля сложноструктурных изделий с большим затуханием сигналов. Неискажающее прямое и обратное электроакустическое преобразование сложно модулированных УЗ-сигналов предполагает наличие в электроакустическом тракте широкополосных параметрически гибких ПЭП, характеризующихся П-образной амплитудно-частотной характеристикой, узкой диаграммой направленности (ДН) и низким уровнем боковых лепестков, равномерным распределением акустического поля, минимальной протяженностью ближней зоны [1, 2].

В докладе представлена технология изготовления широкополосных монолитных малоапертурных мозаичных низкочастотных ПЭП со 100%-ной полосой пропускания ($\Delta f \approx f_0$) и АЧХ заданной формы для работы в составе фазированных антенных решеток. Синтез АЧХ требуемой формы осуществляется с помощью технологии разработанных в 1970-е гг. в МЭИ составных мозаичных ПЭП, представляющих собой набор (матрицу) элементарных пьезоэлементов (ПЭ), которые могут быть объединены электрически и акустически, а для существенного расширения полосы пропускания НЧ ПЭП, синтеза АЧХ и акустического поля заданной формы пьезоэлементы выбираются разноразмерными. При конструировании мозаичных ПЭП основной для расчета параметров является характеристика пространственного распределения акустического поля сложно модулированного сигнала широкополосного ПЭП. Наборы парциальных ДН (каждая ДН характеризует поле ПЭП на одной частоте) не дают полного представления о поле широкополосного ПЭП. Поэтому нами определена новая обобщенная характеристика поля широкополосного ПЭП – корреляци-

онное распределение поля (КРП), представляющая поле максимумов ВКФ сигнала [3]. Для измерения КРП широкополосного ПЭП в каждой точке поля производится регистрация УЗ-сложномодулированного сигнала, вычисляется его АКФ и строится двумерное поле распределения максимумов АКФ, которое пространственно характеризует широкополосный ПЭП сразу во всем диапазоне частот. Также представлена новая характеристика направленности излучения (приема) ПЭП, названная корреляционной диаграммой направленности (КДН) широкополосного ПЭП. КДН и КРП, являясь компактными и наглядными формами представления одновременно частотных и пространственных характеристик широкополосных ПЭП, используются при синтезе топологии широкополосных ПЭП с линейной АЧХ и равномерным полем. Таким образом, КРП и КДН являются не только удобным способом представления ПВ характеристик широкополосных ПП, но и единственно возможным способом представления поля широкополосных ПП при использовании оптимальной фильтрации сигналов.



Для создания равномерного поля широкополосного ПП необходимо обеспечить равные парциальные ДН для каждой частоты ПЭП, что и реализовано в сферически вогнутом преобразователе (СВП) и в похожем по профилю мозаичном широкополосном ПЭП. В обоих случаях профиль ПЭП формируется как набор большого числа кольцевых ПЭП с диаметрами $D_1 - D_3$, которые формируют одинаковые парциальные ДН и тем самым «равномерную» суммарную ДН ($\Theta = \Theta_j$). Однако эксперимент и строгий расчет поля показал, что равномерная суммарная ДН (равномерное поле) СВП получается только при учете соотношений эффективности излучения в пределах главного лепестка и уровня бокового излучения каждого парциального кольца. Искажение АЧХ минимизировано в широкополосном 55-элементном мозаичном ПЭП, где использован тот же принцип СВП, но с предварительной оптимизацией каждой парциальной ДН. Данная конструкция реализована как суперпозиция «вложенных» друг в друга парциальных малоэлементных узкополосных и разновысоких, но не колец, а квазидисков, которые оптимизированы по ширине главного лепестка ДН, уровню боковых лепестков ДН, «плотности заполнения» антенных решеток. Эксперимент показал, что АЧХ мозаичной конструкции на разных расстояниях от антенны близки к П-образной форме, а искажения сигнала как в ближней, так и в дальней зоне минимальны. Улучшение пространственной фильтрации сигналов в широкополосных антеннах обусловлено и оптимизацией топологии антенны и корреляционным способом представления характеристик ПЭП. В частности, в докладе приводятся результаты конструирования широкополосных мозаичных ПЭП с малой апертурой для НК сложноструктурных изделий в составе ФАР.

Гибкая технология мозаики позволила создать УЗ-ПЭП с малой апертурой (ее размер соизмерим с величиной $\lambda/2$ в контролируемом изделии), выполненные из единого исходного пьезокерамического ПЭ и реализующие конструкцию монолитного ПЭП с разновысокими акустически частично-связанными ПЭ – принцип «частично-связанных акустических контуров». Таким образом, гибкая технология изготовления монолитных мозаичных широкополосных ПЭП на основе методики анализа поля широкополосных ПЭП с помощью КДН (КРП) позволила синтезировать широкополосные ПЭП с заданной формой АЧХ, равномерным КРП с минимальным уровнем бокового излучения, минимальной ближней зоной, узкой КДН.

Литература

1. Аксенов В.П., Попов И.С., Попко В.П. и др. Применение пьезокерамических мозаичных электроакустических преобразователей // Тр. МЭИ. 1977. Вып. 335. С. 49–52.
2. Качанов В.К., Соколов И.В. Требования к выбору параметров широкополосных преобразователей для контроля изделий с большим затуханием ультразвуковых сигналов // Дефектоскопия. 2007. № 11. С. 47–62.
3. Качанов В.К., Конов М.М., Соколов И.В. Корреляционная диаграмма направленности и корреляционное распределение поля ультразвукового широкополосного преобразователя // Вестник МЭИ. 2007. № 1. С. 125–130.

С.82. КОМПЛЕКСНАЯ ДЕФЕКТОСКОПИЯ БУРИЛЬНОГО ИНСТРУМЕНТА УЛЬТРАЗВУКОВЫМ И ВИХРЕТОКОВЫМ МЕТОДАМИ

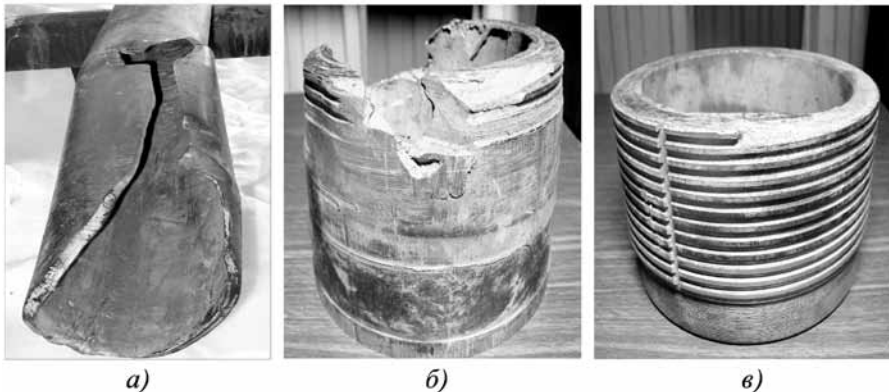
Шкатов П. Н., Куликов С.С., *Московский государственный университет приборостроения и информатики, Москва, Россия*

Надежность работы бурильных труб в значительной степени зависит от своевременного контроля и исключения из эксплуатации труб, имеющих недопустимые дефекты. Появление и развитие эксплуатационных дефектов обусловлено множеством факторов, воздействующих на бурильную трубу в различных комбинациях, зависящих и от технологических, и от геологических аспектов.

Для периодического контроля бурильных труб в МГУПИ разрабатывается измерительный комплекс на основе ультразвукового и вихретокового методов. Вихретоковый метод ориентирован на дефектоскопию стенки бурильной трубы, а ультразвуковой – на дефектоскопию трубной резьбы (см. рисунок). Вихретоковый контроль основан на технологии SLOFEC, при которой возбуждающая и измерительные катушки установлены на расстоянии 3 диаметров трубы.

Для ультразвуковой дефектоскопии совместно с ЗАО «Фирма ЗОНД» был разработан макет сканера. Было признано целесообразным прозвучивание зоны трубной резьбы и стабилизирующего пояса прямым лучом с внутренней поверхности трубы, в качестве модели дефекта было решено использовать сегментный пропилен глубиной 2 мм.

Сканирование осуществляется по поперечно-продольной схеме при вращении (повороте) трубы или смещении сканера по ее периметру. Первый вариант является более



Различные виды разрушения бурильных труб:
а – разрыв стенки; б и в – слом в области трубной резьбы

предпочтительным с точки зрения сохранения стабильного акустического контакта. Приведенная технология опробована в лабораторных условиях и подтвердила хорошую повторяемость выявления моделей и соотношение сигнал/шум.

С.83. ПРИМЕНЕНИЕ АММИАЧНОГО ОТКЛИКА ДЛЯ ВЫЯВЛЕНИЯ ПОВЕРХНОСТНЫХ ДЕФЕКТОВ

Беляков А.В., Горбачев А.Н., Березкина Н.Г., Лейпунский И.О.,
*ОАО «Всероссийский теплотехнический институт»,
Институт энергетических проблем химической физики РАН, Москва, Россия*

В докладе представлен материал по применению метода диагностико-аммиачного отклика (ДАО-технологии), относящегося к капиллярным средствам контроля в различных отраслях промышленности, в частности энергетической и авиационной. ДАО-технология относится к экспресс-методам неразрушающего контроля.

Использование ДАО-технологии позволяет проводить контроль по единой технологии элементов оборудования тепловых электростанций (ТЭС) из любых материалов, включая аустенитные стали, титановые сплавы, цветные металлы, керамику, документировано выявлять дефекты в контролепригодных для нормативных средств неразрушающего контроля зонах, выявлять дефекты, пропущенные нормативными методами, повышать качество ремонтно-восстановительных работ за счет точного выявления трещиноподобных дефектов корпусов и элементов проточного тракта турбин и арматуры.

ДАО-технология не имеет ограничений, связанных с магнитными или электрическими, с упругими или структурными свойствами материалов. На этом основании ее можно использовать практически для любых материалов с дефектами типа несплошности, имеющей выход на поверхность.

Чувствительность ДАО-технологии определяется, в первую очередь, индикаторными материалами, применяемыми для получения портретов дефектов.

Для получения портретов дефектов используется индикаторная бумага марок ИБА-1 и ИБА-2. Разработанные индикаторные бумаги позволяют по таким параметрам изображения, как размер, интенсивность цвета или/и цветовой оттенок изображения дефекта, оценивать количество аммиака, поглощенного за время экспозиции, при условии, что поперечные размеры дефектов много меньше размеров полученных изображений.

Методика контроля деталей по ДАО-технологии предусматривает выполнение следующих операций:

- подготовку деталей к контролю, заключающуюся в обеспечении доступа аммиака в полости поверхностных дефектов; удалении смазок, жировых загрязнений, лаковых и красочных покрытий, окислов и т.д.;

- введение аммиака в дефекты контролируемых деталей, для чего контролируемая деталь смачивается раствором аммиака либо помещается на 5...15 мин в атмосферу паров воды и аммиака;

- регистрацию дефектов путем приложения индикаторной бумаги серии ИБА к контролируемой поверхности. Типичное время регистрации не превышает 30 с.

Расшифровка и документирование результатов контроля. По ДАО-портрету на поверхности индикаторной бумаги устанавливается тип дефекта, по местоположению ДАО-портрета на листе индикаторной бумаги определяется местоположение дефекта на поверхности детали. ДАО-портреты документируют в пределах 5 мин с момента получения.

Технология определения поверхностных дефектов методом диагностико-аммиачного отклика хорошо зарекомендовала себя в области авиастроения (был создан ряд новых экспресс-методов неразрушающего контроля керамики и углерод-углеродных композиционных материалов для ВКС "Буран"), теплоэнергетики (неразрушающий контроль поверхностей корпусных деталей, внутренних и внешних поверхностей роторов турбин и пр.).

С.84. KODAK – НОВЕЙШИЕ СИСТЕМЫ КОМПЬЮТЕРНОЙ РАДИОГРАФИИ

Шилов О.В., *ОАО «Пергам-Инжиниринг», Москва, Россия*

В докладе представлен материал по опыту применения систем на платформе Kodak в России (Kodak ACR, Фосфоматик и др.) – систем обработки изображений, использующих средства компьютерной радиографии (КР). Такие системы позволяют решать многие прикладные задачи радиографического контроля качественнее, быстрее и с более высокой степенью точности. Отсутствие этапа химической обработки дает возможность получать быстрые, почти мгновенные результаты. Мощные программные средства обеспечивают получение точных изображений, позволяющих выявить большое количество важных деталей. Можно использовать КР или отсканировать готовые рентгеновские снимки, чтобы оперативно отправить изображения по электронной почте или разместить в Интернете для совместного анализа или публикации результатов исследований.

Системы КР дают изображения с высоким разрешением, что позволяет различать и анализировать мельчайшие подробности объекта. Благодаря динамическому диапазону, превышающему диапазон обычной пленки в 10 раз, одно цифровое изображение содержит столько же информации, сколько пять снимков на обычной пленке с различными значениями экспозиции. Мощные и в то же время простые в обращении программные средства просмотра позволяют выделить и увеличить участки изображения, представляющие наибольший интерес. Путем регулировки яркости и контрастности выделенных участков можно выявить такие детали, которые просто не видны на отдельном рентгеновском снимке. Метод даже позволяет измерить толщину объекта.

С.85. «GE Everest XLG3™» – ВИДЕОЭНДОСКОП НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ

Ефименко В.Г., *ОАО «Пергам-Инжиниринг», Москва, Россия*

В докладе представлен материал о последнем поколении видеоэндоскопов – система «Everest XLG3» (General Electric) – самых революционных инструментов для удаленного визуального осмотра, которые обеспечивают значительно лучшие инспекционные возможности по сравнению с подобными системами, используемыми в настоящее время:

- сменные зонды позволяют быстро поменять диаметр и длину зонда;
- мощный галоидный источник света 75 Вт с ресурсом до 1500 ч значительно снижает инспекционное время и увеличивает производительность.

Яркие, четкие инспекционные изображения с высокой разрешающей способностью, для более быстрого процесса обнаружения дефекта могут быть направлены в удаленный офис для критических, чувствительных ко времени оценок и улучшенного принятия решения на месте в новом «Everest XLG3».

Система «Everest XLG3» создает заключительные отчеты о проведенной инспекции и сведения о результатах контроля и сразу записывает их на DVD или компакт-диск.

С.86. «GUL WAVEMAKER™ G3» – УЛЬТРАЗВУКОВОЙ СКАНЕР ДЛЯ КОНТРОЛЯ СОСТОЯНИЯ ОСНОВНОГО МЕТАЛЛА ТРУБ

Любич И.А., *ОАО «Пергам-Инжиниринг», Москва, Россия*

Доклад посвящен «GUL WAVEMAKER G3» – революционному подходу в области диагностики трубопроводов. Система «Wavemaker™ G3» позволяет производить комплексную инспекцию больших участков трубопроводов при помощи всего одного кольца с преобразователями, расположенного в удобном для контроля месте. Обеспечивает эффективный контроль трубопроводов, проходящих:

- над поверхностью земли;
- под дорогами, железнодорожными переездами, эстакадами;

- под естественными и искусственными водоемами;
- сквозь стены и перекрытия;
- через другие изолирующие среды.

Преимущества применения системы «Wavemaker™ G3»:

- контроль труб различного диаметра;
- возможность контроля трубопроводов без вывода из эксплуатации;
- возможность сканирования при высоких температурах (свыше 120 °C);
- большая эффективная длина диагностируемого участка (до 400 м);
- наглядность результатов сканирования (все данные выводятся на экран компьютера в виде информативного графика с указанием места расположения и размера дефекта);
- мобильность. Компоненты системы оптимизированы для использования в полевых условиях;
- высокая скорость сканирования;
- возможность работы через лакокрасочное покрытие.

С.87. «OMNISCAN PA» – ПОРТАТИВНЫЙ ДЕФЕКТОСКОП С ФАЗИРОВАННЫМИ РЕШЕТКАМИ

Петушков М.С., ОАО «Пергам-Инжиниринг», Москва, Россия

В докладе подробно освещается метод фазированных решеток и наиболее совершенная система «OmniScan PA» – инновационный прибор ультразвукового контроля методом фазированных решеток, выполненный в соответствии со всеми передовыми требованиями для оборудования неразрушающего контроля. «OmniScan» соединяет высокий уровень сбора данных и мощное программное обеспечение в одном портативном модульном корпусе. Он в равной степени эффективно производит контроль как в ручном, так и в автоматическом режимах.

«OmniScan» сконструирован для работы в самых тяжелых полевых условиях. Поликарбонатный корпус и резиновые защитные элементы делают его крепким прибором, который выдерживает падения и удары. «OmniScan» настолько компактен и легок (всего 4,6 кг), что может с легкостью перевозиться и использоваться в тяжелых полевых условиях как в помещении, так и на открытом воздухе.

Благодаря двум Li-ion батареям «OmniScan» работает в течение шести часов, 8,4-дюймовый (214 мм) экран с отображением в реальном времени (частота обновлений A-Scan 60 Гц) имеет разрешение SVGA 800×600. Экран очень четкий и позволяет наблюдать дефекты во всех подробностях при любом освещении. Ручка прокрутки и функциональные клавиши упрощают просмотр и выбор функций. Для пользователей, предпочитающих интерфейс PC, включена поддержка мыши и клавиатуры.

С.88. РАБОТЫ НТУ «ХАРЬКОВСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ» В ОБЛАСТИ НК

*Сучков Г.М., Горкунов Б.М., Тюпа И.В., Авраменко А.А., Десятниченко А.В., Келин А.А., Ноздрачева Е.Л., Хомяк Ю.В., Скопенко В.В., Глебова Л.В., Нестерова И., Тищенко А.А.,
Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт»,
Харьков, Украина*

Работы по акустической дефектоскопии и толщинометрии, вихретоковой дефектоскопии, измерению толщины покрытий на электропроводных материалах, измерения характеристик магнитных полей выполняются под руководством Г.М. Сучкова. В последнее время работы по электромагнитно-акустической (ЭМА) дефектоскопии в основном были направлены на повышение характеристик генераторов зондирующих импульсов (ГЗИ).

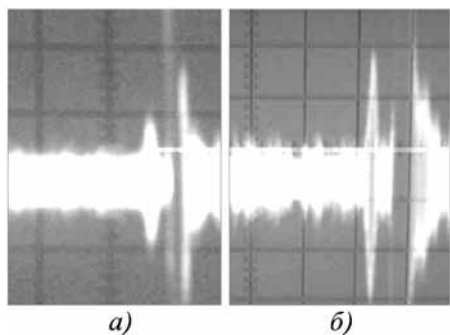


Рис. 1. Реализации с экосигналами от плоскодонного отражателя диаметром 1 мм на расстоянии 160 мм при зазоре между ЭМАП и металлом 0,2 мм (а) и 1 мм (б)

Исследования и разработки по вопросам толщинометрии выполнялись в двух направлениях – ЭМА-способом и с применением емкостных преобразователей. Установлено, что на данный момент ЭМА-способ устойчиво позволяет контролировать толщину изделий в диапазоне от 0,6 мм и более (по ферромагнитной стали). Его чувствительность выше, чем емкостного. В то же время емкостным методом можно выполнять контроль изделий толщиной менее 0,5 мм. При этом из-за отсутствия поляризующего магнитного поля меньше влияние акустических помех, создаваемых, например, окалиной.

Работы по вихретоковой дефектоскопии были направлены на создание средств, позволяющих не только обнаруживать, но и определять тип обнаруженного поверхностного дефекта. Разработан дефектоскоп, который определяет округлый дефект или трещиноподобный, что очень важно для промышленности. Оценка глубины дефекта производится в диапазоне 0,1...3 мм. При этом вихретоковый контроль может выполняться по грубообработанной поверхности, включая поверхность сварных швов без ее предварительной зачистки.

Разработаны новые накладные электромагнитные преобразователи для измерения толщины неэлектропроводных покрытий на электропроводных ферромагнитных или неферромагнитных изделиях. Достигнутая чувствительность составляет 1,5...2 мВ/мкм в диапазоне 0...1 мм. Такие датчики позволяют измерять покрытия толщиной до 20 мм. Преобразователи не содержат термозависимых элементов.

Созданы устройства для определения местонахождения магнитных полюсов на ферромагнитных изделиях и измерения напряженности остаточного магнитного поля в диапазоне от 8 до 500 А/м и более. Прибор термоскомпенсирован и позволяет отстраиваться от магнитного поля Земли и полей, создаваемых крупногабаритными ферромагнитными объектами.

Работы по определению физико-механических характеристик электропроводных и ферромагнитных материалов, а также в области построения математических моделей вихретоковых преобразователей выполняются под руководством Б.М. Горкунова.

В области исследования влияния физико-механических свойств объектов из ферромагнитных материалов на их электромагнитные параметры в малых магнитных полях были разработаны теоретические модели поведения электромагнитной структуры цилиндрических и плоских объектов при наличии внешних механических воздействий: растягивающей (сжимающей) силы, которая приложена в разных направлениях по отношению к

По сравнению с результатами, представленными на прошлой конференции (рис. 1, а), чувствительность обнаружения моделей дефектов в виде плоскодонного отражателя удалось увеличить более чем в 5 раз (рис. 1, б). Очевидно, что ГЗИ нового поколения дает возможность существенно повысить чувствительность ЭМА-дефектоскопа.

Разработана новая технология высокопроизводительного контроля длинномерных изделий акустическими импульсами. Ее применение позволило обнаруживать в таких изделиях, как калиброванные прутки, не только поперечные дефекты, но и вытянутые вдоль прутка нарушения сплошности с сечением в доли миллиметра и более без сканирования поверхности изделия.

магнитному полю; вращающего момента (вал); давления жидкости на стенку ферромагнитной трубы. С учетом совместного проявления тензометрического и магнитоупругого эффектов результаты расчетов подтверждаются экспериментально на специально созданных лабораторных установках с проходными и накладными преобразователями. Сделана попытка создания обобщенной (универсальной) модели вихрекового преобразователя (ВТП) с объектом контроля для произвольного взаимного пространственного расположения витков намагничивающей, измерительной катушек и контура вихревых токов в объекте.

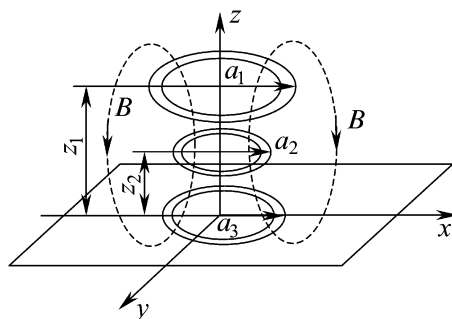


Рис. 2. Система токопроводов

Продолжаются исследования магнитоупругого анизотропного преобразователя со сплошным сердечником, с помощью которого получены удовлетворительные результаты сходимости теоретических предположений поведения электромагнитных параметров при воздействии механических усилий с экспериментальными данными. К достоинствам устройств данного типа следует отнести возможность синтеза преобразователя непосредственно в объекте контроля, т.е. металлическая балка с отверстиями, в которые помещены взаимно-перпендикулярные намагничивающая и измерительные обмотки, что дает возможность контролировать механические напряжения в объекте.

В области разработок ВТП проходного и накладного типа предложена математическая модель расчета данных устройств, которая основывается на замене намагничивающей, измерительной катушек и объекта (ферромагнитного и немагнитного) набором кольцевых проводников.

При этом в кольцах намагничивающей обмотки протекает намагничивающий ток, в кольцах измерительной обмотки появляется индуцированный ток, который замыкается на сопротивление вольтметра и вихревые токи в объекте контроля, которые зависят от параметров объекта контроля. Показано (рис. 2), что при построении данной модели задача расчета ВТП сводится к задаче о трех кольцевых проводниках (кольца Максвелла), причем в общем случае они могут быть ферромагнитными, что потребовало найти оригинальные выражения для взаимоиנדуктивностей кольцевых проводников.

На основе данной модели решена задача расчета ВТП с объектом контроля без использования стандартной процедуры решения уравнений электромагнитного поля (аналитического или численного), которая сводится к решению системы линейных алгебраических уравнений относительно токов намагничивающей, измерительной катушек и вихревых токов объекта контроля с учетом активных и реактивных сопротивлений всех витков модели и магнитных связей.

Разработаны модели ВТП, описывающие поведение структуры поверхностных слоев металлических (магнитных и немагнитных) изделий, которые подвергаются различным видам механических (термических, химических) упрочнений. Решены вопросы определения глубины структурных изменений упрочненного слоя. При проведении совместного контроля глубины и ширины (диаметра) кратера сварочного пятна точечной сварки с помощью накладного ВТП, основываясь на кольцевой модели, получены характеристики по оценке качества сварного соединения.

С.89. РЕШЕНИЕ ВОПРОСОВ МЕТРОЛОГИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ НЕРАЗРУШАЮЩИХ МЕТОДОВ КОНТРОЛЯ ТОЛЩИН ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ПОКРЫТИЙ ДЕТАЛЕЙ ЖИДКОСТНЫХ РАКЕТНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

Калошин В.А.*, Полушкин Е.А.*, Бакунов А.С.***, *ОАО «НПО Энергомаш
им. акад. В.П. Глушко», Химки, **ЗАО «НИИИИ МНПО «Спектр», Москва, Россия

Госстандартом были разработаны и изготовлены для ОАО «НПО Энергомаш» комплекты образцовых мер толщин покрытий (ОМТП).

Показания разработанных в ЗАО «НИИИИ МНПО «Спектр» толщиномеров типа ТЛ-1МП и ВТ-23 на ОМТП были удовлетворительные, но при измерении на натурных деталях появилась дополнительная погрешность из-за влияния электромагнитных свойств подложки и покрытия.

На предприятии был разработан селективно-весовой метод изготовления мер толщин покрытий (МТП), при котором технология изготовления подложки и нанесения покрытий на меру соответствовали технологии изготовления натурной детали. Способ измерения толщины покрытия МТП заключается в том, что образец взвешивают до и после нанесения покрытия и по разности результатов взвешивания при известных площади и плотности покрытия находят толщину последнего, отличающегося тем, что с целью повышения точности измерения после нанесения покрытия образец контролируют неоткалиброванным накладным толщиномером, находят участки покрытия, где показания толщиномера одинаковы, и покрытие вне этих участков перед повторным взвешиванием удаляют.

В результате работ с ОМТП и МТП, изготовленными по селективному методу, был определен метрологический подход к измерению толщины покрытий. Разработаны локальные поверочные схемы. Для токовых, магнитных методов контроля толщин покрытий технические и метрологические параметры представлены в таблице. Поверочная схема состоит из ОМТП, изготовленных и аттестованных в соответствии с ГОСТами и применяемых для аттестации и поверок толщиномеров.

Далее следует переход к МТП, изготовленным селективно-весовым методом и применяемым для аттестации, поверок, калибровок и настроек толщиномеров.

ОМТП и МТП изготавливаются и применяются по документации ОАО «НПО Энергомаш». Затем изготавливается натурная мера толщины покрытия из натурального узла или детали и служащая для исключения дополнительных погрешностей при настройке и измерении толщин покрытий.

Документами, содержащими метрологические рекомендации при измерении конк-ретных деталей, являются технические условия.

Технические и метрологические параметры ОМТП, МТП, изготавливаемых селективно-весовым методом и некоторых натуральных МТП

Меры толщины покрытий	Назначение
Образцовые, аттестованные методом прямого измерения	Аттестация, испытания и поверка толщиномеров по НТД
Изготовленные селективно-весовым методом, аттестованные методом прямого измерения	Калибровка, поверка и настройка толщиномеров. Документация: методические указания по поверке толщиномеров; паспорт на толщиномер
Натурные, изготовленные из натурального объекта контроля и аттестованные арбитражными методами (прямых измерений, металлографией, рентгеноструктуроскопией	Настройка толщиномеров. Инструкционная карта контроля

С.90. КОМПЛЕКСНЫЙ НЕРАЗРУШАЮЩИЙ КОНТРОЛЬ ТОЛСТОСЛОЙНЫХ НИКЕЛЬ-ХРОМОВЫХ ПОКРЫТИЙ ОТВЕТСТВЕННЫХ УЗЛОВ ЖИДКОСТНЫХ РАКЕТНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

Калошин В.А.,

ОАО «НПО Энергомаш им. акад. В.П. Глушко», Химки, Московская обл., Россия

Качество и ресурс работы жидкостных ракетных двигателей (ЖРД) в значительной степени определяется надежностью камеры сгорания, работающей в экстремальных условиях воздействия высоких температур, давлений, агрессивных сред и механических нагрузок.

Совокупность этих условий и требования многоразовости работы ЖРД обуславливают необходимость применения защитных никелевых и хромовых покрытий внутренних стенок от воздействия высокотемпературной эрозии.

Сами покрытия также позволяют обеспечить оптимальный тепловой режим огневой стенки и предотвращают эрозийный унос материала стенок высокотемпературным и высокоскоростным газовым потоком, что обеспечивает стабильность геометрических и прочностных характеристик камеры, особенно важных в условиях многоразовости испытаний.

Нарушение расчетных параметров покрытий при производстве камеры, испытаниях и эксплуатации ЖРД недопустимо. В связи с этим контроль толщины покрытий приобретает важное значение. Особую актуальность представляет собой задача измерения толщин функциональных покрытий на деталях камеры сгорания из немагнитных материалов жаропрочных сплавов.

Применение неразрушающих методов контроля толщин покрытий позволяет обеспечить 100%-ный контроль деталей, повышающих надежность и качество.

Однако решение конкретных задач контроля никель-хромовых покрытий затруднено наличием мешающих факторов, таких как: сложная геометрия камеры (наличие зон с двойной кривизной поверхности), требование обеспечения контроля в базовом сечении местонахождения точек контроля с допуском 2 ± 1 мм, наличие магнитного материала под покрываемой стенкой из немагнитного материала и, что особенно важно – специальная технология нанесения никелевого покрытия, создающая неравномерные магнитные свойства покрытия, также изменяющиеся после высокотемпературного воздействия.

На предприятии успешно решены поставленные задачи и разработаны системы технического диагностирования, основанные на измерении параметров и применении магнитных и вихрековых методов неразрушающего контроля.

Также совокупность перечисленных проблем при их решении способствовала созданию принципиально нового методического подхода к разработке средств метрологического обеспечения.

Описанные системы внедрены в ОАО «НПО Энергомаш» и ОАО «Металист-Самара» при производстве камер сгорания ЖРД нового поколения и после натурных испытаний включены в разработки по особо важному государственному заказу в рамках темы «Ангара».

С.91. ОПЫТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ИМПУЛЬСНЫХ РЕНТГЕНОВСКИХ АППАРАТОВ ДЛЯ КОНТРОЛЯ КОРДОВЫХ ЛЕНТ БЕЗ ОСТАНОВКИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА НА ПРЕДПРИЯТИЯХ ТЭК РЕСПУБЛИКИ СЕРБИЯ

Шаренац В., «Комет», Белград, Сербия

Превосходство рентгеновских аппаратов с постоянным питающим напряжением над импульсными аппаратами в областях гибкости режимов контроля и стабильности генерируемого излучения общеизвестна. В том случае, если объект контроля имеет небольшой динамический диапазон толщин, как это имеет место в случае с кордовыми лентами, эти преимущества отступают на второй план. Лидером по мобильности и соотношению стои-

мость—производительность становятся импульсные рентгеновские аппараты.

На промышленных рудниках по добыче бурого угля, одного из важных энергоносителей для нашей страны, для работы транспортеров угля и полиметаллических руд повсеместно используются резинометаллические кордовые ленты, постоянно повреждаемые сырьем и жесткими включениями в процессе их транспортировки. Рентгеновский контроль кордовых лент позволяет оценивать их ресурс и проводить их замену по факту технического состояния.

С.92. ОБНАРУЖЕНИЕ СЛАБОГО ИНФОРМАТИВНОГО СИГНАЛА НА ФОНЕ НЕОПРЕДЕЛЕННОЙ ПОМЕХОСИГНАЛЬНОЙ ОБСТАНОВКИ

Морозова Т.Ю., *Московский государственный университет
приборостроения и информатики, Москва, Россия*

Работа посвящена методам обнаружения и оптимальным методам приема сигналов на фоне негауссовских шумов.

Теория оптимальных методов приема сигналов на фоне гауссовских шумов в настоящее время имеет законченный и стройный вид, позволяющий считать ее классической.

Применение этой теории, восходящей к работам Н. Винера и В.А. Котельникова, позволяет в принципе решить задачу синтеза оптимального приемника слабого полезного сигнала в канале связи с гауссовским шумом.

В отличие от классической теория оптимальных методов приема сигналов на фоне негауссовских шумов находится на начальной стадии своего развития и носит пока фрагментарный характер.

Потребность в создании и развитии такой теории обусловлена целым рядом практических задач, в которых помехи являются существенно негауссовскими. Использование для решения этих задач методов классической теории, оптимизированных под гауссовский шум, приводит, очевидно, к неоптимальному результату, поэтому разработка методов оптимального приема сигналов на фоне негауссовских шумов представляет собой актуальную проблему. Особую значительность эта проблема принимает при приеме слабых сигналов, обнаружить которые часто удается только оптимальными методами.

В настоящее время можно выделить два основных направления в развитии теории оптимальных методов приема сигналов на фоне негауссовских шумов.

Первое направление связано с разработкой оптимальных методов приема на фоне негауссовских шумов с распределениями из конкретных классов. Выбор класса распределения обусловлен практической потребностью.

Второе направление связано с распространением результатов классической теории на случай негауссовского шума. При этом используются различные известные методы нормальной аппроксимации вероятностных функций распределения шума, основанные, как правило, либо на разложении этих функций в ряды Крамера, Эджворта, Шарлье и т.п., либо на центральной предельной теореме. Связанная с таким распределением потеря в оптимальности определяется точностью соответствующей аппроксимации.

Рассматриваемая в работе задача обнаружения слабого сигнала, являющаяся неотъемлемой частью его приема, относится именно к этому направлению развития теории.

Вводится показатель, который определяет порог невозможности обнаружения сигнала в неопределенной помехосигнальной обстановке (показатель близости).

Доказывается теорема об асимптотической эффективности оптимального критерия обнаружения слабого информативного сигнала в схеме серий, когда с ростом числа наблюдений $n \rightarrow \infty$ гипотезы H и K сближались со скоростью $\sim 1/\sqrt{n}$.

Хотя утверждение теоремы не является новым результатом и вытекает из третьей

леммы Ле Кама, приведенное доказательство отличается от имеющихся большей строгостью и полнотой.

Основными результатами являются следствия и замечания из теоремы, особенно замечание, в котором устанавливается связь показателя близости к гауссовскому случайному процессу с известным в технической литературе показателем КАОЭ (коэффициентом асимптотической относительной эффективности). Данный показатель оценивает выигрыш в эффективности обнаружения сигнала на фоне негауссовского шума по сравнению с гауссовским.

В заключении отмечается, что все полученные результаты могут быть применены к задаче классификации (различения) детерминированных сигналов $S_1(t)$ и $S_2(t)$ по наблюдаемой их аддитивной смеси с шумом $y(t)$, поскольку заменой переменных $x(t) = y(t) - S_2(t)$ и $S(t) = S_1(t) - S_2(t)$ задача классификации превращается в задачу обнаружения сигнала $s(t)$ в наблюдаемой аддитивной смеси $x(t)$.

С.93. СОВРЕМЕННЫЕ ТРЕБОВАНИЯ К МЕТОДАМ И СРЕДСТВАМ НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ

Иванов В.И., Власов И.Э., ОАО «Оргэнергонефть», Москва, Россия

В настоящее время перед неразрушающим контролем (НК) стоят новые задачи, связанные с необходимостью извлечения существенно большего количества информации. Это определяется рядом факторов, которые включают в себя необходимость существенно-го увеличения промышленной безопасности в условиях истощения ресурса большей частью промышленного оборудования.

Реально стоит задача применения НК на всех стадиях жизненного цикла объекта. На стадии проектирования необходимо установление объемов и методов контроля, а также норм допустимых дефектов. На этапе эксплуатации необходима оценка степени опасности дефекта. Сохраняются требования обеспечения контролепригодности объекта на всех стадиях жизни объекта.

Применение НК в процессе производства в большей степени играет дисциплинирующую роль. Нормы браковки, как правило, связаны с достигнутой чувствительностью метода НК.

На стадии монтажа оборудования сохраняется возможность работы с более высокой чувствительностью и возможность проведения ремонтных работ для удаления недопустимого дефекта. В этих условиях нормы браковки могут быть такими же, как и в процессе изготовления.

Начало эксплуатации объекта отмечается повышенной вероятностью отказа. Объемы, методы и чувствительность НК должны быть выработаны совместно изготовителем (проектной организацией) и эксплуатирующей организацией.

В средней части жизненного цикла ремонт и замена оборудования затруднены, поэтому важно оценить влияние дефекта на конструкцию. Использование НК приобретает стационарный характер, желательно применение НК в режиме мониторинга. Уровни чувствительностей НК могут быть снижены на порядок относительно уровней, используемых при изготовлении объекта. Для оценки прочности объекта с дефектом необходимо взаимодействие НК и механики разрушения (МР). В этом случае объем информации при выполнении контроля определяется требованиями МР. Необходимо измерять: координаты дефекта, его размеры, форму, ориентацию. Следует трансформировать НК из дефектоско-

пии в дефектометрию.

Критерии браковки объектов устарели. Необходимо измерение параметров дефектов применением калибровочных кривых, точностных характеристик. Следует использовать показатели достоверности применяемых методик.

Из сказанного вытекают основные задачи, стоящие перед НК.

1. Повышение чувствительности с учетом указанных требований.
2. Увеличение количества извлекаемой информации (более точное измерение размеров, оценка формы и т.д.).
3. Автоматизация процесса НК и обработки информации (распознавание образов, нейронные цепи).
4. Разработка и расширение использования новых методов и методик НК.
5. Создание новых подходов и нового поколения НТД, отражающих задачу НК обеспечивать получение измерительной информации.
6. Разработка новых систем оценки результатов НК, например создание систем классификации дефектов по степени их реальной опасности, и разработка новых критериев браковки объектов.
7. Поиск связей НК и смежных областей, участвующих в оценке надежности и безопасности производственного объекта, оценке ресурса, определении степени близости его к предельному состоянию.

С.94. ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ СИНТЕЗА ДЛЯ РАЗРАБОТКИ СРЕДСТВ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО КОНТРОЛЯ МЕХАНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК

Стеблев Ю.И., Устинов И.К., Тимохин А.В., *СамГТУ, Самара, Россия*

Несмотря на большое число работ, посвященных неразрушающему контролю и диагностике энергетических установок, актуальность этой тематики не снижается. Это объясняется двумя причинами. Во-первых, большая часть публикаций связана с работами по контролю перемещений в достаточно узких диапазонах и вибродиагностике. Во-вторых, остается широкий круг диагностических задач, не решаемых известными средствами или недостаточно хорошо проработанных как в теоретическом, так и в экспериментальном плане.

К таким задачам относятся: бесконтактный контроль изгибных деформаций лопаток турбомашин в процессе испытаний, контроль осевых широкодиапазонных перемещений валов в условиях сильных мешающих воздействий, контроль механически напряженного состояния наиболее ответственных элементов энергетических установок, бесконтактный контроль параметров движения валов роторов газотурбинных и электрических двигателей, плунжеров прессов и т.п. в переходных режимах в условиях стендовых испытаний.

Многие из этих задач могут успешно решаться методами и средствами электромагнитного (вихретокового) контроля. Однако сложность нерешенных задач контроля требует дальнейшего развития теоретических основ вихретокового метода, создания новых подходов к проектированию алгоритмов и аппаратных средств диагностики на основе обратных электродинамических задач и синтеза.

Приводятся постановки или решения отдельных задач вихретокового контроля механического состояния энергетических установок по математическим методам синтеза вихретоковых преобразователей (ВТП) широкодиапазонных осевых перемещений валов, по взаимодействию электромагнитных полей ВТП с механически напряженной проводящей средой и расчету выходных сигналов специального типа ВТП для бесконтактного контроля параметров движения объектов с гладкими поверхностями в переходных режимах.

Задачи синтеза вихретоковых преобразователей относятся к классу обратных задач электродинамики. Это некорректно поставленные задачи, для решения которых необходимо применять методы регуляризации. Решения обратных задач – задач синтеза носят конструктивный характер, т.е. в результате этого решения получается схема первичного измерительного преобразователя с требуемыми выходными характеристиками или алгоритм обработки диагностической информации.

Обратные задачи и задачи синтеза ВТП являются основой создания систем автоматизированного проектирования средств вихретокового неразрушающего контроля механического состояния энергетических установок. При этом исходной информацией являются заданные требования к выходным характеристикам аппаратных средств и параметрам мешающих воздействий.

Показаны возможности реализации сформулированного подхода к контролю механического состояния энергетических установок на основе современных информационных технологий и мощных сигнальных процессоров для обработки первичной диагностической информации.

С.95. СТАНДАРТНЫЕ ОБРАЗЦЫ ДЛЯ НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ ВЕЩЕСТВ, МАТЕРИАЛОВ И ИЗДЕЛИЙ РАЗЛИЧНОЙ ФОРМЫ ДИФРАКЦИОННЫМИ МЕТОДАМИ В РЕНТГЕНОВСКОМ ДИАПАЗОНЕ ДЛИН ВОЛН

Гущин Г.В., Коммель И.Л., Кодесс Б.Н., *ФГУП «ВНИИМС», Москва, Россия*

Разработаны стандартные образцы дифракционных свойств, которые являются эталонами прямого назначения. Эти эталонные средства измерений используются непосредственно исследователями в различных областях науки и техники и другими потребителями при разработке различных методов определения характеристик веществ и материалов и их ресурса (при применении в различных инженерных конструкциях и устройствах) и для их сертификации, а также при всесторонних испытаниях и поверке, в ходе разработки и эксплуатации сложного дифрактометрического оборудования.

Их использование позволяет оценить уровень накопления полей напряжения в материалах из-за микро- и макродефектов различной природы после внешних воздействий или в ходе накопления усталостных эффектов. Стандартные образцы уже использовались в различных дифрактометрах, включая полевые условия для контроля мостов, шасси самолетов, полусфер и других изделий. Часть данной работы проводилась в рамках грантов МНТЦ и РФФИ (07-08-20248-а).

ИМЕННОЙ УКАЗАТЕЛЬ

С		В	
Collrep J.	43	Вавилов В.П.	56
В		Вадковский Н.Н.	62
Běhal J.	42	Венгринович В.Л.	37
М		Вент Д.П.	175
Makarov V.	42	Вепренцева О.Н.	175
Moser E.	43	Виггенхаузер Г.	18
А		Вичужанин Д.И.	110
Аббакумов К.Е.	103	Власов А.И.	165
Авраменко А.А.	191	Власов В.Т.	137
Авраменко С.Л.	181	Власов Е.В.	95
Алехин С.Г.	151	Власов И.Э.	197
Аракелов П.Г.	101	Волков С.С.	102
Артемьев Б.В.	93, 111	Волкова Т.А.	102
Б		Волчков Ю.Е.	93
Бадалян В.Г.	36	Вопилкин А.Х.	67, 112, 113
Базулин А.Е.	80, 113	Воронков В.А.	89, 169
Базулин Е.Г.	80, 82, 113	Воронков И.В.	89
Бакунов А.С.	34, 148, 194	Воронкова Л.В.	90
Балицкий Ф.Я.	75	Г	
Баранов С.В.	153	Гладковский С.В.	110
Барсуков В.К.	23	Глебова Л.В.	191
Белобородов А.В.	95	Глотов Д.А.	63
Белый Н.Г.	154, 161	Глотюк В.Л.	21
Беляев Ю.И.	175	Голубев А.С.	82
Беляков А.В.	189	Гольдштейн Р.В.	64
Березкина Н.Г.	189	Горбачев А.Н.	33, 189
Бирюкова Н.П.	62	Горбик В.М.	155
Бишко А.В.	114	Горделий А.В.	30
Бобров В.А.	62	<u>Горделий В.И.</u>	30
Бобров В.Т.	151	Горкунов Б.М.	191
Бобров С.В.	94	Горкунов Э.С.	17, 27, 110
Бойченко С.Н.	138	Гребенник В.С.	90
Бондаренко А.И.	155	Грошков Е.П.	70
Брезгина Л.П.	47	Грудская Е.Г.	49
Бритвин В.А.	103	Гурвич А.К.	28
Будадин О.Н.	54, 153, 154, 164, 165	Гуревич С. Ю.	117
Буклей А.А.	51, 129	Гурьева Т.М.	49
Бухенский В.Н.	161	Гущин Г.В.	199
Быков В.В.	123		

Д					
Денкевич Ю.Б.	37		Киффер Патрик	38	
Дергачев Е.Н.	62		Климов К.М.	25	
Десятниченко А.В.	191		Клюев В.В.	32	
Детков А.Ю.	94		Клюев С.В.	101	
Довгилович С.Е.	129		Клюшев А.В.	70	
Дубов А.А.	69, 136, 137		Ковалев А.А.	50	
Дурейко А.В.	79		Ковалев А.В.	50	
Дымкин Г.Я.	169		Кодеес Б.Н.	199	
Е			Кожаринов В.В.	58	
Егоров Н.Н.	49		Козлов В.Н.	151	
Елсуков К.А.	165		Козьяков А.Б.	38	
Ермолов И.Н.	46		Коколев С.А.	82	
Ефименко В.Г.	190		Кокорин А.Н.	84	
Ж			Колосков С.А.	57	
Житников Ю.В.	67		Кольцов В.Н.	53, 119	
З			Коммель И.Л.	199	
Забиров Р.Р.	130		Коновалов А.Б.	47	
Завьялов П.С.	95		Коновалов Н.Н.	60	
Загидулин Р.В.	34, 148		Коновалов Р.С.	103	
Загребельный В.И.	157		Кононов Д.А.	67, 112	
Задворкин С.М.	110		Королев М.В.	63	
Зарицкий С.П.	94		Коршаков А.В.	108	
Заушицын А.В.	67		Кособоков Д.В.	169	
Золотарев С.А.	37		Костюков Ал.В.	138	
Зусман Г.В.	70		Костюков В.Н.	138, 142	
И			Котельников В.В.	164	
Иванов В.И.	197		Кочеткова О.Н.	60	
Ивченко В.В.	151		Краузе М.	18	
Изотов А.В.	53, 119		Крылов В.А.	87	
Ильгамов М.А.	76		Кузелев Н.Р.	57	
К			Кузелева Е.В.	57	
Калошин В.А.	194, 195		Куклев А.В.	172	
Канцеров М.В.	52		Куликов С.С.	188	
Карабегов М.А.	85		Курков А.В.	99	
Карманов М.Н.	154		Л		
Кассина В.В.	147		Лазебный В.С.	155	
Качанов В.К.	184, 186		Ларин В.В.	136	
Кекин А.Г.	52		Лебедев П.В.	128	
Келин А.А.	191		Лейпунский И.О.	189	
Кирпичев А.А.	70		Лисицын В.И.	63	
			Любич И.А.	190	

М	
Майер К.	18
Марков А.А.	38
Мартынов С.А.	153, 171, 172
Маслов А.А.	123
Маслов А.И.	93, 111
Матвеев В.И.	20, 32, 51
Махов В.М.	78
Мигун Н.П.	15
Миленц Ф.	18
Мильман Б.	18
Миляев А.И.	136
Митропольская С.Ю.	110
Мишакин В.В.	147
Мишакин С.В.	147
Могиленских Д.В.	47
Молотков С.Л.	99
Морозова Т.Ю.	196
Мужицкий В.Ф.	27, 34, 148
Муравская Н.П.	65
Мясников В.М.	183
Н	
Назаркин Г.М.	62
Науменко А.П.	138, 142
Наумов М.Ю.	147
Нестерова И.	191
Новик А.А.	106
Ноздрачева Е.Л.	191
Носов В.А.	90
О	
Овчарук В.Н.	120, 124
Осинцева А.Л.	110
Остапушенко Д.Л.	146
П	
Павлов И.В.	58
Паршин И.А.	129
Патон Б.Е.	18
Перегудов А.Н.	104
Петушков М.С.	191
Поволоцкая А.М.	110
Подкопаев С.В.	150
Поздеев В.В.	38

Полушкин Е.А.	194
Пономарев М.А.	52
Попкова Е.С.	104
Посыпайко Ю.Н.	156, 160
Потапов А.И.	58
Потапов И.А.	126
Пырву С.И.	115
Р	
Радько В.П.	158
Решетовский И.И.	37
Родин А.Б.	184, 186
С	
Сагайдак А.И.	179
Сажин В.А.	132
Сажин С.Г.	135, 183
Самарин П.Ф.	36, 84
Самокрутов А.А.	151, 172
Сергеев В.А.	151
Сидоров М.А.	25
Скопенко В.В.	191
Сляднев А.М.	115
Смирнов А.С.	133
Смирнов Ю.В.	153
Соколов И.В.	184, 186
Соколов Н.Ю.	93
Соколова А.Г.	72
Стародубцева Е.Е.	52
Стеблев Ю.И.	198
Сучков Г.М.	191
Сырбу В.Н.	115
Сысоев А.М.	150
Т	
Тарабрин В.Ф.	97, 167
Тарасенков Г.А.	63, 79
Тимофеев Д.В.	173
Тимохин А.В.	198
Тихонов Д.С.	36, 67, 84, 112, 113
Тищенко А.А.	191
Ткаченко А.А.	44
Толипов Х.Б.	117
Троицкий В.А.	18, 155, 156, 157, 158, 161

Троицкий-Марков Р.Т.	153, 165
Троицкий-Марков Т.Е.	54, 154
Туробов Б.В.	63
Тюпа И.В.	191

У

Углов А.Л.	177
Устинов И.К.	145, 198

Ф

Федоровский Е.В.	128
Федосенко Ю.К.	41, 78
Федотовских В.Г.	84
Федчишин В.Г.	52
Филинов В.В.	101
Филинов М.В.	64, 123
Финогенов Л.В.	95
Фризе М.	18
Фурсов А.С.	64, 123

Х

Херауф Ф.	171
Хлыбов А.А.	177
Хныков Ю.А.	52
Хомяк Ю.В.	191

Ц

Цариковский А.И.	135
------------------	-----

Ч

Чебан В.И.	30
Чирков Ю.А.	162

Ш

Шалаев В.А.	154
Шаренац В.	195
Шатерников В.Е.	101, 129
Шахнов В.А.	165
Шевалдыкин В.Г.	151, 172
Шевелев А.В.	169
Шевелько М.М.	104
Шевченко В.П.	60
Шелухин А.А.	169
Шилов О.В.	190
Шкатов П.Н.	70, 188
Шлеин Д.В.	148
Шубочкин А.Е.	34
Щекин К.И.	57
Щербинский В.Г.	46

XVIII ВСЕРОССИЙСКАЯ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ ПО НЕРАЗРУШАЮЩЕМУ КОНТРОЛЮ И ТЕХНИЧЕСКОЙ ДИАГНОСТИКЕ

с международным участием



(29 сентября – 4 октября 2008 г.)



Правление Российского общества неразрушающего контроля и технической диагностики приняло решение о проведении очередной XVIII Всероссийской конференции по неразрушающему контролю и технической диагностике в г. Нижний Новгород в 2008 г. на базе Нижегородского государственного технического университета.

Нижний Новгород – крупнейший центр автомобилестроения, ядерной энергетики и других областей промышленности.

В 2008 г. Нижнему Новгороду исполнится 787 лет.

Нижегородский государственный технический университет (НГТУ) является одним из ведущих вузов России, крупнейшим учебным и научным центром Поволжья.

Университет был создан как Варшавский политехнический институт Императора Николая II в июне 1898 г.

На кафедрах университета активно развиваются научные исследования, результаты которых получили признание в научном сообществе России. Из методов неразрушающего контроля в НГТУ наибольшее развитие получил метод проникающих веществ (течеискание). Руководитель этого направления – профессор С.Г. Сажин.

На ряде кафедр развиваются и другие методы неразрушающего контроля и технической диагностики.

В рамках подготовки XVIII Всероссийской конференции по НКВД руководством НГТУ образована рабочая группа Оргкомитета, которая занимается подготовкой мероприятий, работает с организаторами конференции и ее спонсорами. Руководитель рабочей группы – профессор С.Г. Сажин.

Сопредседатели оргкомитета XVIII Всероссийской конференции

Руководитель Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору К.Б. Пуликовский.

Президент РОНКТД академик РАН профессор В.В. Клюев.

Ректор НГТУ профессор В.П. Кириенко.

Оргкомитет конференции

Будадин О.Н., д.т.н.	Махутов Н.А., чл.-кор. РАН	Сажин С.Г., д.т.н.
Вьюнов В.С., к.т.н.	Мигун Н.П., академик БАН	Тамаров В.А., к.т.н.
Горкунов Э.С., чл.-кор. РАН	Миховски М., проф., Болгария	Троицкий В.А., д.т.н.
Гурвич А.К., д.т.н.	Мишакин В.В., д.т.н.	Фадеев М.А., к.т.н.
Демидик С.Д.	Никулин С.М., д.т.н.	Хохлов Н.Ф., д.т.н.
Ерофеев В.И., д.т.н.	Перевезенцев В.Н., д.т.н.	Ченгбин Го, проф., Китай
Колганов Е.В., д.т.н.	Пушкина И.Ю., к.т.н.	Шатерников В.Е., д.т.н.
Кортов В.С., д.т.н.	Разуваев И.В., к.т.н.	Щербинин В.Е., чл.-кор. РАН
Кренинг М., проф., Германия		

Программный комитет

Артемьев Б.В., д.т.н. – председатель	Коновалов Н.Н., д.т.н.	Пичков С.Н., д.т.н.
Добротин С.А., д.т.н.	Кузелев Н.Р., д.т.н.	Коршакова Н.В.

Научные направления конференции

I. Теоретические аспекты неразрушающих методов контроля и технической диагностики.

- Общие вопросы разработки средств неразрушающего контроля и диагностики: задачи, состояние и перспективы.
- Магнитные, электрические, электромагнитные и электромагнитоакустические методы.
- Акустические методы, тепловые и оптические методы.
- Радиационные, радиографические и рентгеновские методы.
- Методы проникающих веществ.
- Автоматизированные системы контроля качества продукции и неразрушающего контроля.

II. Практические аспекты неразрушающих методов контроля и технической диагностики.

- Диагностика и обеспечение техногенной безопасности.
- Контроль структуры, фазового состояния и механических свойств изделий.
- Оценка напряженно-деформированного состояния и остаточного ресурса изделий и конструкций.
- Моделирование в неразрушающем контроле и обработка дефектоскопической информации.
- Сертификация персонала, лабораторий, средств и технологий неразрушающего контроля.
- Метрологическое обеспечение неразрушающего контроля.
- Системы неразрушающего контроля и технической диагностики в промышленности, строительстве и на транспорте.

III. Антитеррористическая диагностика.

- Методы и средства поисково-досмотровых систем.
- Криминалистическая диагностика.
- Методы средства обнаружения взрывных устройств и веществ.

Сроки и требования к докладам

Прием тезисов докладов до 30.03.2008 г.

Распределение тезисов по тематическим секциям до 15.04.2008 г.

Извещение авторов о включении их докладов в Программу конференции до 30.05.2008 г.

Прием полных текстов докладов до 30.07.2008 г.

Форма подачи документов

1. Заявка на участие подается в виде 2 файлов: регистрационная карта и тезисы доклада в формате MS Word for Windows.

2. В качестве имени файла следует использовать фамилию автора русскими буквами! Например, сидоров_тезисы.doc, сидоров_заявка.doc.

3. Регистрационная карта должна содержать следующие столбцы:

Фамилия, имя, отчество	Ученое звание и степень	Должность	Наименование организации	Адрес, телефон, e-mail
Сидоров Иван Иванович	Доцент к.т.н.	Доцент	ННГУ	603123, Н. Новгород, ул. Минина, д. 1, кв. 2, тел. (8312) 2345678 дом., тел. (8312) 1234567 раб., sidorov@mail.ru

4. Тезисы доклада до 1 страницы машинописного текста, шрифт Times New Roman Суг, кегель 12, поля по 2 см со всех сторон.

5. Название тезисов – заглавными буквами, фамилии и инициалы авторов, название организации, города, страны центрировать по центру, интервал одинарный, отступа первой строки нет.

Пример оформления

МЕМБРАННЫЙ МЕТОД ФОРМИРОВАНИЯ УТЕЧКИ ПРИ ЛОКАЛИЗАЦИИ ТЕЧЕЙ СПОСОБОМ ЩУПА

Сажин С.Г., Мясников В.М.

Дзержинский политехнический институт НГТУ, г. Дзержинск, Россия

Одним из важнейших условий проведения многих производственных процессов, в том числе в условиях потенциальных опасных производств, является обеспечение герметичности технологического оборудования, трубопроводов

Телефоны для справок

- Сопредседатель Оргкомитета – проректор по научной работе НГТУ, профессор Лоскутов Алексей Борисович (8312) 36-63-12.
- Сопредседатель Оргкомитета – профессор Сажин Сергей Григорьевич (8313) 26-05-04.
- Факс: (8313) 23-04-10 (Сажину С.Г.).
- E-mail: avtomat@sinn.ru.

ЖУРНАЛ РОССИЙСКОГО ОБЩЕСТВА ПО НЕРАЗРУШАЮЩЕМУ КОНТРОЛЮ И ТЕХНИЧЕСКОЙ ДИАГНОСТИКЕ

Контроль. Диагностика

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

ООО "Издательство Машиностроение" и Российское общество по неразрушающему контролю и технической диагностике представляют ежемесячный научно-технический журнал "Контроль. Диагностика". Журнал выходит с 1998 года.

Объем журнала 76 страниц. Журнал предназначен для специалистов в области контроля качества и технической диагностики различного уровня и ранга всех отраслей промышленности. Поможет службам и отделам, комплектующим предприятия оборудованием, приборами, материалами для НК и ТД.

Будет полезен фирмам, оказывающим услуги в области НК и ТД. Интересен как опытным профессионалам и руководителям, так и студентам, специализирующимся по НК и ТД.

Подписные индексы:

29075 по каталогу "Пресса России";

47649 по каталогу агентства "Роспечать";

60260 по каталогу российской прессы "Почта России"

Россия, 107076, Москва, Строминский пер., д. 4

ООО "Издательство Машиностроение", редакция журнала "Контроль. Диагностика"

Тел.: (495) 268 36 54, 268 69 19. Факс (495) 269 47 98

E-mail: td@mashin.ru. [Http://www.td.mashin.ru](http://www.td.mashin.ru)

www.td.mashin.ru

Редакционный совет:

Артемьев Б.В., Бобров В.Т., Клейзер П.Е., Королев М.В.

НАУЧНОЕ ИЗДАНИЕ

**НЕРАЗРУШАЮЩИЙ КОНТРОЛЬ И ТЕХНИЧЕСКАЯ ДИАГНОСТИКА
В ПРОМЫШЛЕННОСТИ**

Тезисы докладов 7-й Международной конференции

Корректор *С.В. Сидоренко*

Инженеры по компьютерному

макетированию: *Н.И. Смольянина; К.Ю. Подживотов*

Сдано в набор 04.02.2008 г. Подписано в печать 14.02.2008 г. Формат 70×100 ¹/₁₆.

Бумага офсетная. Гарнитура Times. Печать офсетная.

Усл. печ. л. 16,9. Уч.-изд. л. 17,8.

Тираж 250 экз. Заказ

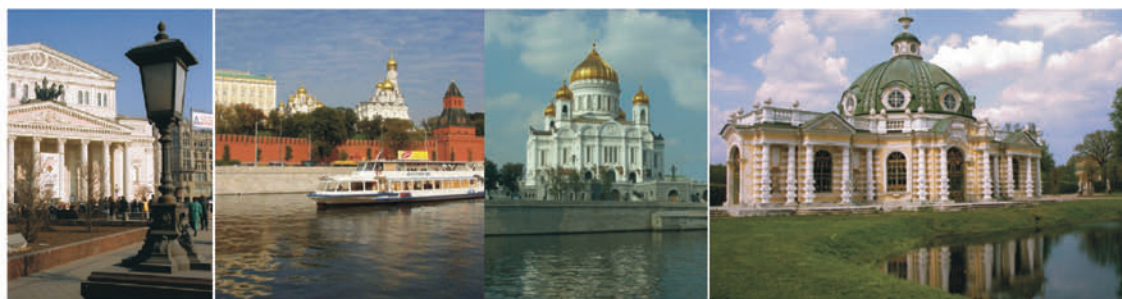
ООО «Издательство Машиностроение»,

107076, Москва, Стромьинский пер., д. 4.

www.mashin.ru

Отпечатано в ГУП ППП "Типография "Наука" РАН,

121099, Москва, Шубинский пер., 6



EF European Federation for
Non-Destructive Testing
NDT



Российское общество
по неразрушающему контролю
и технической диагностике

10-я Европейская конференция по неразрушающему контролю

www.ecndt2010.ru

Москва 2010

7-11 июня

Неразрушающий контроль - основа безопасности