

Метод ToFD является более чувствительным к дефектам плоскостного типа трещин в сравнении с RT.

Преимущества метода ToFD

Наиболее существенные отличия от стандартного эхо-импульсного метода:

1. Возможность достижения более **высокой точности при проведении измерений**, как правило, ± 1 мм, а при повторном обследовании $\pm 0,3$ мм.

2. **Независимость обнаружения дефекта** от его углового положения.

3. Измерение параметров дефекта основано на времени прохождения пути дифракционных сигналов и **не зависит от амплитуды сигнала**.

4. **Высокая производительность** контроля, так как сканирование проводится вдоль одной линии с контролем всего объёма шва.

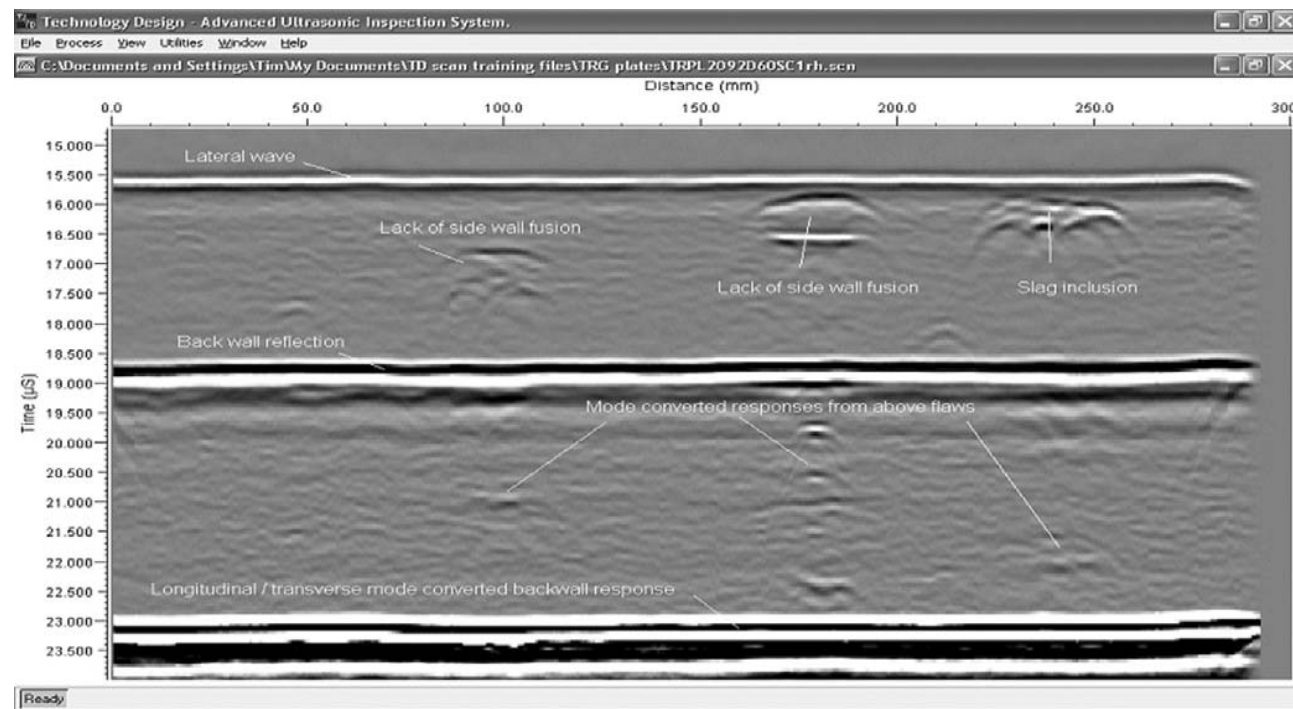
5. **Документирование и хранение результатов** контроля.

6. **100% воспроизводимость результатов** контроля.

7. **Измерение величины эрозии металла** внутренней поверхности.

8. **Альтернатива радиационному методу НК**.

Базовая интерпретация



Метод применим, как правило, для материалов с относительно низкими уровнями затухания и рассеяния ультразвуковых волн. В большинстве случаев метод применим для нелегированных и низколегированных углеродистых сталей и сварных соединений, но также возможно его применение для мелкозернистых аустенитных сталей и алюминия. Крупнозернистые материалы и материалы со значительной анизотропией, такие как чугун, аустенитные сварные материалы и сплавы с высоким содержанием никеля, требуют дополнительной валидации и дополнительной обработки информации.

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

НАЦИОНАЛЬНАЯ АКАДЕМИЯ НАУК БЕЛАРУСИ

Государственное научное учреждение
«ИНСТИТУТ ПРИКЛАДНОЙ ФИЗИКИ НАН БЕЛАРУСИ»

БЕЛОРУССКАЯ АССОЦИАЦИЯ НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ И
ТЕХНИЧЕСКОЙ ДИАГНОСТИКИ

РОССИЙСКОЕ ОБЩЕСТВО ПО НЕРАЗРУШАЮЩЕМУ
КОНТРОЛЮ И ТЕХНИЧЕСКОЙ ДИАГНОСТИКЕ

УП «БЕЛГАЗПРОМДИАГНОСТИКА»

Государственное учреждение высшего профессионального образования
«БЕЛОРУССКО-РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Современные методы и приборы контроля качества и диагностики состояния объектов

Материалы 4-й международной
научно-технической конференции

Могилев, 26-27 сентября 2012 г.

Подробно у специалистов компании «Белгазпромдиагностика», прошедших специальное обучение и принимающих участие в работах по внедрению и гармонизации стандартов метода Time of Flight Diffraction (ToFD).

УП «Белгазпромдиагностика»

Организация семинаров по методу ToFD, разработка методик, внедрение, обучение персонала.
Беларусь, Минск, ул. Гусовского, д.4, офис 301.

Тел./факс: 375 17 205 08 68, 256 15 75. e-mail: info@diag.by www.diag.by

Могилев

ГУ ВПО «БЕЛОРУССКО-РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

2012

УДК 620.179.1«324»(043.2)
ББК 34.47
С56

Редакционная коллегия : д-р техн. наук, проф. И. С. Сазонов (гл. редактор); д-р техн. наук, доц. В. М. Пашкевич (зам. гл. редактора); В. И. Кошелева (отв. секретарь); д-р физ.-мат. наук, проф. В. И. Борисов; д-р техн. наук, проф. В. А. Новиков; канд. техн. наук, доц. С. С.Сергеев

Рецензенты : д-р физ.-мат. наук Мигун Н.П.; д-р техн. наук, проф. В. П. Куликов; д-р физ.-мат. наук, проф. Зуйков И.Е.; д-р техн. наук, проф. В. Ф. Матюк; д-р техн. наук, проф. В. А. Рудницкий; д-р физ.-мат. наук, проф. В. И. Борисов; д-р техн. наук, проф. В. А. Новиков; д-р техн. наук, проф. А. Р. Баев; канд. техн. наук, доц. С. С.Сергеев

С56 **Современные методы и приборы контроля качества и диагностики состояния объектов : материалы 4-й междунар. науч.-техн. конф. / М-во образования Респ. Беларусь, М-во образования и науки Рос. Федерации, Нац. акад. наук Респ. Беларусь, Ин-т прикладной физ. НАН Респ. Беларусь, Белорусская ассоциация неразруш. контр. и техн. диагн., Рос. общество по неразруш. контр. и техн. диагн., УП «Белгазпромдиагностика», Белорус.-Рос. ун-т ; редкол. : И. С. Сазонов (гл. ред.) [и др.]. – Могилев : Белорус.-Рос. ун-т, 2012. – 364 с. : ил.**
ISBN 978-985-492-111-2.

Представлены результаты фундаментальных, поисковых и прикладных исследований в области: физики взаимодействия различных полей и излучений с объектами и средами; техники восприятия, передачи, преобразования и отображения измерительной информации о параметрах объектов; мониторинга и диагностики состояния технических объектов.

Рассмотрены вопросы применения современных методов, приборов и методик неразрушающего контроля и технической диагностики в нефтехимии, энергетике, транспорте и строительстве, а также проблемы подготовки специалистов по контролю качества для различных отраслей промышленности.

Сборник предназначен для инженерно-технических и научных работников, аспирантов и студентов ВУЗов.

УДК 620.179.1«324»(043.2)
ББК 34.47

ISBN 978-985-492-111-2

© ГУ ВПО «Белорусско-Российский университет», 2012

Ультразвуковой Дифракционно-временной метод НК Time of Flight Diffraction — ToFD

Метод TOFD основан на взаимодействии ультразвуковых волн с краями несплошностей. Это взаимодействие приводит к излучению дифракционных волн в широком диапазоне углов. Обнаружение дифракционных волн позволяет установить наличие несплошности.

Время прохождения регистрируемых сигналов является мерой оценки высоты несплошности, тем самым позволяя измерить дефект. Размер несплошности всегда определяется временем прохождения дифракционных сигналов. Амплитуда сигнала не используется для определения размера.

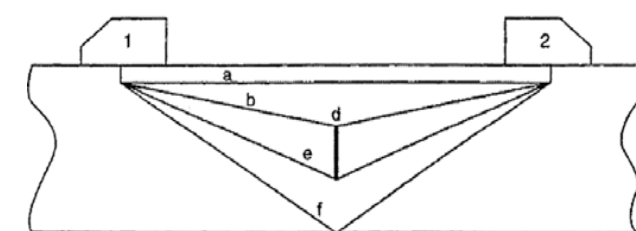
Физическая сущность ToFD

Метод основан на приёме волн, дифрагированных на вершинах дефекта.

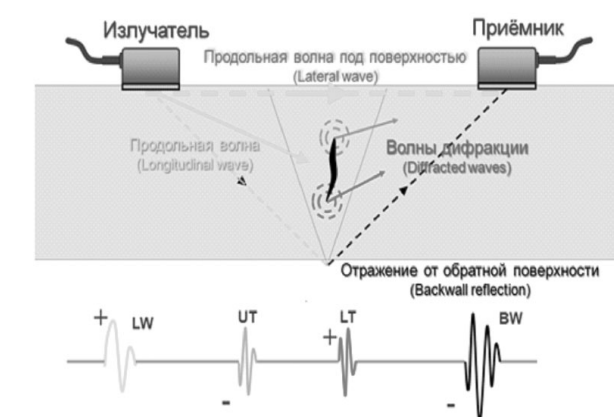
Причём излучаются и принимаются как продольные, так и поперечные волны.

Главная информационная характеристика – время прихода сигнала. Этот метод также называют времяпролетным, буквально переводя английское название Time of Flight Diffraction (ToFD).

Боковая волна (lateral wave): продольная волна, которая распространяется

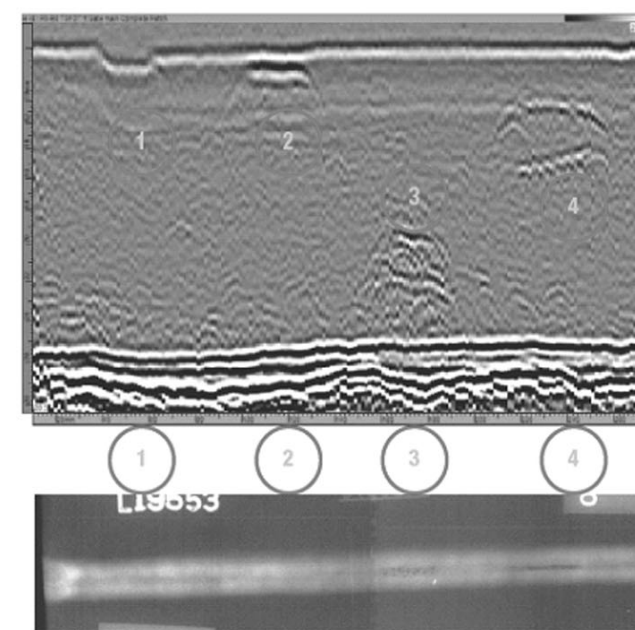


1 – излучатель; 2 – приёмник; a – боковая волна; b – сигнал от верхней кромки дефекта; d – несплошность; e – сигнал от нижней кромки дефекта; f – донный эхосигнал.

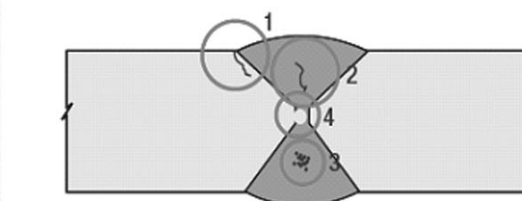


прямолинейно от излучающего до приёмного ПЭП в конфигурации ToFD. Термин обычно используется при контроле стыковых сварных соединений (излучатель и приёмник располагаются на одном уровне).

Краткий анализ результатов ToFD & RT



Выходящая на поверхность трещина (1) в сварном соединении толщиной 50мм не обнаружена с помощью радиографии (RT).



Анализ результатов контроля качества сварных швов, по данным ToFD и радиографии, показывает, что ToFD обеспечивает возможность проведения измерений глубины залегания дефекта, а так же информацию высоте дефекта.

СОДЕРЖАНИЕ

Научное издание

Современные методы и приборы контроля качества и диагностики состояния объектов

Материалы 4-й международной
научно-технической конференции
Могилев, 26-27 сентября 2012 г.

Авторы несут персональную ответственность за содержание докладов

Технический редактор И. В. Брискина

Компьютерная верстка И. В. Брискина

Подписано в печать 04.09.2012 г. Формат 60x84/16. Бумага офсетная.
Гарнитура Таймс. Усл. печ. л. 20,58. Уч.-изд. л. 15,51.
Тираж 150 экз. Заказ № 9.

Издатель и полиграфическое исполнение
Государственное учреждение высшего профессионального образования
«Белорусско-Российский университет»
ЛИ №02330/375 от 29.06. 2004 г.
212000, г. Могилев, пр.Мира, 43.

Цифровая печать с оригинал-макета заказчика
ИП Войцехович Д.Л., св. № 191347677, выд. Фр. РИК 01.04.10,
г. Минск, ул. Матусевича, 78-191.

КЛЮЕВ В.В., МИГУН Н.П., АРТЕМЬЕВ Б.В., МАТВЕЕВ В.И., Достижения российских и белорусских ученых в области неразрушающего контроля и технической диагностики изделий сложной конструкции.....	11
ПАВЛОВ И.В. Комплексный неразрушающий контроль гидротехнических сооружений.....	31
ВЕНГРИНОВИЧ В.Л. Вероятностная концепция оценки ресурса технических объектов по данным многосенсорных измерений.....	34
СЕРГЕЕВ С.С. Особенности двухуровневой подготовки специалистов в области неразрушающего контроля и диагностики.....	40
Секция 1. Дефектоскопия материалов и промышленных изделий	
АББАКУМОВ К.Е., КОНОВАЛОВ Р.С. Параметры поверхностных акустических волн локализованных вдоль границы раздела пьезоэлектриков.....	43
АНИСИМОВА А.Е., КУЛАК Г.В., НИКОЛАЕНКО Т.В. Акустооптическая диагностика низших мод Лэмба.....	45
АСАДЧАЯ М.В., СЕРГЕЕВА О.С., САДОВСКИЙ С.В., ГИЛЬ Н.Н. Амплитудно-угловые характеристики ПАВ, возбуждаемых в металлах с упрочненным поверхностным слоем.....	47
БАЕВ А.Р., ГУДЕЛЕВ В.Г., МАЙОРОВ А.Л., МИТЬКОВЕЦ А.И., ПАРАДИНЕЦ В.В. Параметры ПАВ при перемещении лазерного луча относительно поверхностного дефекта.....	50
БАЕВ А.Р., МАЙОРОВ А.Л., СЕРГЕЕВА О.С., ПАРАДИНЕЦ В.В. Трансформация объемных волн на плоском дефекте с низкой отражающей способностью.....	52
БАРАБАНОВ П.А., ЛУНИН В.П. Отстройка от формы дефекта в теплообменной трубе при оценке его геометрических параметров	54
БОНДАРЕВ О.Ю. Дистанционная интроскопия полых изделий	57
БУДАИ Б.Т., ПОРОДНОВ Б.Т., МЯКУТИНА И.В., КАСАТКИН Н.В., ТОВКАЧ Е.Ф. Применение оптико-электронных систем для поиска малоразмерных малоконтрастных изображений дефектов.....	60
ГУДЕЛЕВ В.Г., КУЛАК Г.В., МАТВЕЕВА А.Г. Особенности оптико-акустической диагностики объемных дефектов металлов...	63
КОСИЦЫН А.В., БРАНЦЕВИЧ П.Ю. Экспериментальное исследование повреждаемости силовых конструкций авиационной техники.....	66
КРЮКОВ А.С., ЧЕГОДАЕВ В.В., ЖДАНОВ А.Г., ЛУНИН В.П. Обработка вихретоковых сигналов при отбраковке изделий цилиндрической формы.....	69
ЛАВРЕНТЬЕВ А.С. Разработка течеискателя для контроля	

сварных швов с использованием газо-воздушной смеси на основе 2% водорода.....	72
ЛЕБЕДЕВА Л.И., КАТУНИН А.Д. Прецизионная лазерная маркировка изделий. Дефекты и технологические погрешности при нанесении надписей.....	74
МИГУН Н.П., ДЕЛЕНКОВСКИЙ Н.В., ГНУСИН А.Б. Капиллярный контроль при тонких слоях проявителя.....	77
НОВИКОВ В.А., КУШНЕР А.В., ШИЛОВ А.В. Определение режима намагничивания при магнитографическом контроле ферромагнитных изделий.....	79
НОВИКОВ В.А., СКРЯБИНА Г.И., ШИЛОВ А.В., КУШНЕР А.В. Формирование индикаторных рисунков дефектов на пленке, визуализирующей магнитные поля.....	81
ПИЛЮГИН С.О., ЛУНИН В.П. Обработка данных метода фазированной акустической решетки при контроле трещин.....	83
ПОПЕЧИЦ В.И. Дефектоскопия материалов и промышленных изделий с помощью многокомпонентных растворов красителей.....	86
ПРОХОРЕНКО А.А., ВОРОБЬЁВ В.В. Ультразвуковой контроль сварных швов нефтепровода с использованием фазированных решеток.....	89
ПУДОВ В.И. Способ феррозондовой диагностики неоднородных ферромагнитных включений.....	94
ПУДОВ В.И., РЕУТОВ Ю.Я. Контроль эффективности лазерной обработки магнитомягких материалов и сплавов.....	97
СЕРГЕЕВА О.С., САДОВСКИЙ С.В. Исследование эффективности ультразвукового контроля качества соединения двухслойного объекта.....	100
ХАТЬКОВ Д.Н. Оценка определения местоположения дефекта дифференциальным методом при панорамном сканировании объекта с низким разрешением.....	103
ХВОСТОВ А.А., ПОКРОВСКИЙ А.Д. Метод расширения диапазона отстройки от влияния зазора при вихретоковом контроле.....	106
ЦИХ В.С. Использование электромагнитного фазового метода контроля для определения отслоений изоляционных покрытий подземных нефтегазопроводов.....	108
ЧЕРНОВ Л.А., ПАСТУХОВ Е.Г., МАЛУШИН Д.С. Исследование импульсного металлоискателя.....	111
Секция 2. Контроль структуры и физико-механических характеристик материалов и изделий	
БОРИСОВ В.И., КАРПЕНКО А.В. Определение диэлектрической проницаемости материалов с помощью диэлектрических СВЧ-волноводов.....	113
БРАНОВИЦКИЙ И.И., СКУРТУ И.Т. Использование кривых Безье для представления основной кривой намагничивания и петель	

$$m = k \cdot q, \quad (4)$$

где k – коэффициент, зависящий от состава материала контакта и от среды, заполняющей промежуток между контактами.

В свою очередь, значение заряда q определяется электрическим напряжением U между контактами соединителя и ёмкостью C между ними:

$$q = U \cdot C. \quad (5)$$

Следовательно, для уменьшения массы частицы материала, вырывающейся из анода искрой, надо уменьшать значение ёмкости C . Данная ёмкость состоит из трёх составляющих:

$$C = C_k + C_{пр} + C_{вх}, \quad (6)$$

где C_k – ёмкость между поверхностями сближающихся в процессе замыкания контактов, достигающая своего максимального значения к моменту проскакивания искры; $C_{пр}$ – ёмкость между выводами контактов в соединителях и проводами, подключающими соединитель к элементам коммутируемой аппаратуры; $C_{вх}$ – входная ёмкость коммутируемой аппаратуры.

Зависимость объёма изношенного материала (ΔW_z) за некоторое число коммутаций (N_x) при замыкании имеет вид:

$$\Delta W_z = k \cdot U \cdot C_{вх} \cdot N_x. \quad (7)$$

Общую систему уравнений, описывающих электрический износ при различных состояниях работы контакта можно представить в виде:

$$\begin{cases} \Delta W_p = (P \cdot t \cdot N_x \cdot I) / 2 \\ \Delta W = F_1(k_n) + F_2(x_n) + F_3(y_n) \\ \Delta W_z = k \cdot U \cdot C_{вх} \cdot N_x \end{cases} \quad (8)$$

Анализ факторов, влияющих на надёжность контактной пары показывает, что расчёт степени износа может быть выполнен с помощью математической модели, учитывающей объём изношенного материала при замыкании, в замкнутом состоянии и при размыкании.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Мышкин, Н. К. Электрические контакты / Н. К. Мышкин, В. В. Кончиц, М. Браунович. – Долгопрудный : Издательский дом «Интеллект», 2008. – 560 с.

E-mail: pms35vm@yandex.ru

несения на поверхности деталей контактных пар, восстановления покрытия на изношенных контактах и переработки утилизированных деталей.

Решение указанной актуальной проблемы заключается в разработке метода контроля показателей надёжности и прогнозирования остаточного ресурса контактных пар разъёмных электрических соединителей, а также в создании принципов построения средств контроля контактных пар.

Целью работы является проведение теоретических исследований влияния различных видов износа рабочих поверхностей контактной пары на показатели надёжности и числовые характеристики функции переходного сопротивления контакта.

Известна модель износа контактной пары, согласно которой интенсивность изнашивания поверхности определяется по параметру – объём изношенного материала (ΔW_p) за некоторое число коммутаций (N_x) [1]:

$$\Delta W_p = \frac{P \cdot t \cdot N_x \cdot I}{2}, \quad (1)$$

где P – постоянная материала; t – время горения дуги; I – сила тока перед замыканием.

Из формулы (1) видно, что известная модель учитывает влияние свойств материала, силу тока в цепи, скорость и количество коммутаций.

Кроме размыкания, соединитель изнашивается в незамкнутом состоянии (коррозия), при замыкании (искровой разряд и мостиковая эрозия) и в замкнутом состоянии (фреттинг-коррозия). Интенсивность износа поверхности контакта можно определить по формуле:

$$\Delta W = \Delta W_K + \Delta W_Z + \Delta W_F + \Delta W_p, \quad (2)$$

где ΔW_K – износ, вследствие коррозии поверхности; ΔW_Z – износ при замыкании контактной пары; ΔW_F – износ при фреттинге; ΔW_p – износ при размыкании.

Электрический износ в замкнутом состоянии обусловлен процессом фреттинга, который характеризуется ускоренным разрушением в контакте. Математически это можно записать в следующем виде:

$$\Delta W = F_1(k_n) + F_2(x_n) + F_3(y_n), \quad (3)$$

где F_1, F_2, F_3 – функции групповых факторов; k_n, x_n, y_n – аргументы зависимых функций.

При замыкании контактов происходит пробой воздушного пространства, вследствие чего между контактами проскакивает искра. Пробой воздушного промежутка между поверхностями электрических контактов зависит от расстояния между поверхностями, но не от неоднородности воздуха, разделяющего выступы. При разряде с поверхности контакта, являющегося *анодом*, вырывается частица материала. Масса m частицы практически пропорциональна электрическому заряду q , переносимому искрой [4]:

магнитного гистерезиса магнитомягких материалов.....	116
БУРАК В.А. Оценка изменения топографии напряженности поля остаточной намагниченности при воздействии растягивающих напряжений.....	119
ГОРКУНОВ Э.С., ПОВОЛОЦКАЯ А.М., ТУЕВА Е.А., ЗАДВОРКИН С.М. Структура, механические и магнитные свойства двухслойного композиционного материала при пластической деформации.....	121
ГУСЕВ А.П., ПИУНОВ В.Д. Термостабильность источника высокооднородного магнитного поля для эталона магнитной индукции.....	124
ГУСЕВ О.К., ВОРОБЕЙ Р.И., ТЯВЛОВСКИЙ А.К., ТЯВЛОВСКИЙ К.Л., СВИСТУН А.И., ТКАЧЕНКО А.Ф. Многофункциональный измерительный преобразователь контроля параметров жидких технологических сред.....	126
ДУБОВ А.А., ДУБОВ Ал.А., ДЕМИДОВ А.Н. Определение механических свойств металла по параметрам твердости в зонах концентрации напряжений, выявленных в изделиях машиностроения методом магнитной памяти металла.....	129
ЕКИМЕНКО А.Н., КОЛДАЕВА С.Н., КОЛДАЕВ О.Ю. Способ и устройство неразрушающего контроля технологических параметров процесса плунжерной экструзии.....	133
ЖАРИН А.Л., ТЯВЛОВСКИЙ А.К. Зондовая электрометрия в неразрушающем контроле прецизионных поверхностей.....	135
ЖАРИН А.Л., АНИСОВИЧ А.Г., ТЯВЛОВСКИЙ А.К., ТЯВЛОВСКИЙ К.Л., СВИСТУН А.И. Контроль свойств поверхности металлических образцов с использованием зондовой электрометрии	137
ЗУБКО В.И., ЗУБКО Д.В. Оперативные методы контроля и диагностики электрических свойств композиций на основе вторичных полимерных материалов.....	140
КАРПЕНКО В.А., ЛАПТИНСКИЙ В.Н., МОГИЛЕВИЧ В.Н., РОМАНЕНКО А.А. К анализу обратной задачи эллипсометрии неоднородных диэлектрических слоев.....	143
КОРОТКЕВИЧ З.М. Информативные параметры для контроля качества закалки стали У8А.....	146
КОСТИН В.Н., ВАСИЛЕНКО О.Н. О повышении достоверности локального измерения магнитных параметров структуроскопии..	148
КУЛЬБЕНКОВ В.М., ХОМЧЕНКО А.В., ВОЙТЕНКОВ А.И., КОВАЛЕНКО О.Е., ГУЗОВСКИЙ В.Г., ШУЛЬГА А.В., ЗАЙЦЕВ А.В. Измерение распределения величины двулучепреломления в плоскости автомобильных закаленных стекол.....	151
ЛИСОВЕНКО Ю.С., ИБЕРЗОВА Е.А., ПЕТЮЛЬ И.А., МАТВЕЕВ К.С. Исследование прочностных характеристик композиционных материалов при воздействии многократного изгиба.....	154
МАТЮК В.Ф. Повышение достоверности контроля качества	

термообработки малогабаритных изделий из конструкционных среднеуглеродистых сталей.....	157
МАТЮК В.Ф., КОРОТКЕВИЧ З.М. Методика выбора режима импульсного намагничивания изделий цилиндрической формы из инструментальных углеродистых сталей.....	160
МЫНДЮК В.Д., КАРПАШ М.О. Особенности деградации структуры материалов металлоконструкций и оценка возможности ее диагностирования методами неразрушающего контроля.....	162
ПАРТНОВ С.Б. Оперативный контроль степени уплотнения асфальтобетонных покрытий в процессе укатки.....	165
РУДНИЦКИЙ В.А., КРЕНЬ А.П., МАЦУЛЕВИЧ О.В. Оценка релаксации и ползучести асфальтобетона методом индентирования	167
САНДОМИРСКИЙ С.Г. Использование связей между магнитными параметрами для установления действительных зависимостей максимальной магнитной проницаемости сталей от режимов их термической обработки.....	169
САНДОМИРСКИЙ С.Г. Структурная и фазовая чувствительность релаксационной коэрцитивной силы ферромагнитного тела...	172
СЕРГЕЕВ С.С., МАРКОВ А.П. Особенности способов спектрально-энергетической мутнометрии.....	175
ТЕЛЕШ Е.В. Контроль пористости тонких пленок на арсениде галлия.....	178
ХОЛОДИЛОВ О.В., БЕЛОНОГИЙ Д.Ю. Термоактивационная модель акустической эмиссии при трении.....	181
ШИЛОВА И.В. Многоэлементный волоконно-оптический датчик избыточного давления.....	184
ШТЕННИКОВ В.Н. Развитие теплофизических основ контактной пайки как один из факторов обеспечения высокого качества электроники.....	187
Секция 3. Контроль геометрических параметров объектов	
ГРОМЫКО А.В., РОМАНОВ А.Ф., ХОДАСЕВИЧ А.И., ЧЕРНОБАЙ И.А. Георадарный метод экспресс-контроля толщины и качества дорожных покрытий.....	190
ДУДЧИК Ю.И. Получение монохроматического квазипараллельного рентгеновского микропучка с использованием элементов преломляющей рентгеновской оптики.....	193
ЗАГОРСКИЙ И.Е. Вихретоковый контроль геометрических параметров труб «Касафлекс».....	196
ЗУЙКОВ И.Е., САВКОВА Е.Н. Измерительный контроль параметров несамосветящихся объектов с применением систем технического зрения.....	198
КРОТОВА О.А., КЛИМОВИЧ К.В. Особенности контроля зубчатых колес на машиностроительных предприятиях.....	201
ЛУХВИЧ А.А., ЛУКЪЯНОВ А.Л., БУЛАТОВ О.В. Магнитоди-	

УДК 620.179.1.082.7

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ НАДЕЖНОСТИ КОНТАКТНЫХ ПАР РАЗЪЁМНЫХ СОЕДИНИТЕЛЕЙ

Г. И. УТКИН, В. В. МАРКОВ

ФГБОУ ВПО «ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
УЧЕБНО-НАУЧНО-ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ КОМПЛЕКС»

Орёл, Россия

Разъёмные электрические соединители – широко распространённые компоненты радиоэлектронной и электромеханической аппаратуры. Основным функциональным элементом разъёмного соединителя, предназначенного для коммутации токоведущих частей аппаратуры, является контактная пара. Согласно статистическим данным предприятий-изготовителей разъёмов, около 75 % отказов разъёмных электрических соединителей происходит из-за износа их контактных пар, а отказ электрического соединителя, в свою очередь, является одним из наиболее типичных видов отказов радиоэлектронной и электротехнической аппаратуры. В связи с этим особое значение приобретает решение задачи обеспечения высокой износостойкости контактных пар как основного показателя надёжности электрических соединителей [1].

Изделия радиотехники и электронно-вычислительной техники имеют в своём составе значительное количество разъёмных соединителей, которые, в свою очередь, состоят из многих контактных пар. Например, прямоугольный электрический соединитель типа СНП-260 имеет 135 контактных пар. Разъёмным электрическим соединителям присваиваются высокие значения показателей надёжности: минимальная наработка – 500 сочленений-расчленений (т.е., замыканий и размыканий) и 10 тыс. ч при работе под электрической нагрузкой; срок сохраняемости (в упаковке) – 12...15 лет. Руководящим документом РМ 25446-90 для каждой контактной пары устанавливается номинальная интенсивность отказов в диапазоне от $0,005 \cdot 10^6$ до $0,02 \cdot 10^6$ 1/ч, в зависимости от типа конструкции соединителя (это сопоставимо с интенсивностью отказов резисторов). Такие высокие показатели надёжности формируются в результате разработки конструкций контактных пар, гарантирующих безотказную работу соединителя в течение его назначенного ресурса. По окончании назначенного ресурса разъёмного электрического соединителя возникает актуальная проблема, заключающаяся в обосновании возможности и продолжительности его дальнейшей эксплуатации или, наоборот, в доказательстве факта его предельного износа и необходимости утилизации. Решение данной проблемы создаёт предпосылки для продления ресурса соединителей, организации ремонтно-восстановительных работ на предприятиях-изготовителях, что, в конечном счёте, позволит решить задачу экономии серебра при производстве соединителей за счёт его рационального на-

А. С. СИДОРЕНКО, С. К. КРУТОЛЕВИЧ, А. А. АФАНАСЬЕВ,
В. М. ПРУДНИКОВ
ГУ ВПО «БЕЛОРУССКО-РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
Могилев, Беларусь

Автоматизация сбора и обработки технологической информации требует применения датчиков, способных не только вырабатывать сигналы, параметры которых функционально связаны с контролируемыми величинами, но и осуществлять их первичное преобразование, цифровую обработку и хранение для последующего извлечения из них полезной информации.

Для считывания этой информации с последующей передачей ее контроллеру или серверу данных необходим датчик, обладающий рядом специальных возможностей, а также, возможно, способный работать в неблагоприятных условиях.

К специальным возможностям следует отнести способность первичной и периодической самокалибровки, диагностирования текущего состояния, включающего, например, обнаружение обрывов провода, коротких замыканий, отказов отдельных элементов и модулей, оперативную замену неисправного датчика на запасной, работающий в дежурном режиме. Особенностью современных датчиков является также передача данных по единственному проводнику или по радиоканалу.

Техническая реализация перечисленных функций возможна, с одной стороны, при наличии совместно работающего с датчиком (встроенного) контроллера с TEDS-памятью (ЭСППЗУ), а с другой стороны – специального программного обеспечения, как встроенного в контроллер датчика, так и в систему.

Вся информация о датчике хранится в TEDS-памяти встроенной микросхемы. Вне зависимости от способа подключения датчика идентификационный номер последнего всегда доступен пользователю. Все это особенно важно при установке большого количества датчиков на удаленных от центра управления объектах. Все сведения о датчике и информация от него становятся известны системе, как только эти данные записываются в TEDS-чип. Для создания программного обеспечения систем, включающих интеллектуальные датчики, разработан программный эмулятор интеллектуального датчика с описанными выше возможностями. Результаты исследований эмулятора показали, что использование его позволяет значительно снизить затраты и ускорить разработку специального программного обеспечения.

намический толщиномер МТНП-1 толстослойных никелевых покрытий.....	204
ЛУХВИЧ А.А., ЛУКЪЯНОВ А.Л., БУЛАТОВ О.В. Контроль никелевых покрытий камер сгорания ракетных двигателей на участках со сложной геометрией.....	207
СТОЛЯРОВ А.А. Контроль отложений на внешней поверхности теплообменных труб.....	210
ТАРИКОВ Г.П., КИРПИЧЕНКО Ю.Е., КОМРАКОВ В.В. Метод экспериментального определения интенсивности изнашивания материалов зубчатых колес.....	213
ТРЕТЬЯК З.Ю. Выбор допустимой погрешности измерительного контроля при трапециевидном распределении контролируемого параметра.....	215
ХОМЧЕНКО А.В., СОТСКИЙ А.Б., КОРНЕЕВА И.А., ПАРАШКОВ С.О., СОТСКАЯ Л.И., ШУЛЬГА А.В. Контроль параметров наноразмерных металлических покрытий на кремнии.....	219
ЧЕРНЫШЕВ А.В. Влияние толщины магнитного листа на распределение в нем напряженности магнитного поля, создаваемое накладным преобразователем.....	221
ШАРАНДО В.И. Влияние формы электродов и контактной нагрузки при термоэлектрическом контроле никеля на стали 20.....	224
ЩЕЛАК Т.Е., ДАНИЛОВА-ТРЕТЬЯК С.М., ЛЕЩЕНКО В.Г. Метод неразрушающего контроля качества теплоизоляции строительных ограждающих конструкций.....	227

Секция 4. Мониторинг, диагностика и прогнозирование остаточного ресурса технических объектов

БИРЮКОВ Е.Н., КОРОТКИЙ Д.В., ВИНОГРАДОВА Л.Н. Диагностика опор скольжения агрегатов прокатного производства электрорезистивным методом.....	230
БЛАГОДАРНЫЙ В.М. Оценка и контроль экологической безопасности технических систем.....	233
БРАНЦЕВИЧ П.Ю., КОСТЮК С.Ф. Мониторинг вибрационного состояния сложных технических объектов.....	236
ВАСИЛЬЕВ А.А. Система мониторинга технического состояния мостовых сооружений.....	239
ВЕНГРИНОВИЧ В.Л., ДМИТРОВИЧ Д.В., ВОРОБЬЕВ В.В. Повышение достоверности неразрушающего контроля напряженного состояния в трубопроводах методом магнитных шумов.....	242
ВЕНГРИНОВИЧ В.Л., ЦУКЕРМАН В.Л., ДЕНКЕВИЧ Ю.Б., ГЕРЛОВСКИЙ С.А., ГУЛЕВ А.Ф., МОРДИЧ Д.М., ПОДИЛО П.Ф. Интеллектуальные системы мониторинга строительных конструкций.....	245
ВРУБЛЕВСКАЯ В.В., ВАСИЛЬЕВ А.А., ГУРСКИЙ Д.М. Диагностики прочности сцепления арматуры крестообразного соеди-	

нения.....	248
ГРИШИН С.А., БУЙ А.Н., ПЕТЮК А.Л. Автоматизированная установка для контроля магнитного поля магнитов, магнитопроводов, магнитных экранов и сердечников.....	251
ДЕДКОВ А.Д., АФАНАСЬЕВ А.А., ГОГОЛИНСКИЙ В.Ф., ПИСАРИК В.В. Устройство для диагностики форсунок дизельных двигателей с системой впрыска Common rail.....	253
ДУБОВ А.А., УГЛОВ А.Л. Современные стандарты России по неразрушающему контролю напряженно-деформированного состояния и оценке ресурса.....	254
ЖАРИН А.Л., ГУСЕВ О.К., ВОРОБЕЙ Р.И., ТЯВЛОВСКИЙ А.К., ТЯВЛОВСКИЙ К.Л., СВИСТУН А.И. Контроль токов утечки диэлектрика на основе воздействия коронным разрядом и бесконтактной регистрации поверхностного потенциала.....	257
ЗАЯТРОВ А.В. Обнаружение «особых» причин изменчивости на основе двухконтурной системы статистического регулирования технологического процесса механообработки.....	260
ЗУЙКОВ И.Е., АНТОШИН А.А., ОЛЕФИР Г.И. Динамика изменения факторов пожара в производственных помещениях с бумажной продукцией.....	263
ИШИН Н.Н., ГОМАН А.М., СКОРОХОДОВ А.С., НАТУРЬЕВА М.К. Виброакустическая диагностика планетарных редукторов.....	266
КОРОТКЕВИЧ С.В., ХОЛОДИЛОВ О.В., КРАВЧЕНКО В.В., БУТКЕВИЧ А.В. Анализ эксплуатационных свойств подшипников качения.....	269
КУДРЯВЦЕВА Д.А., КУДРЯВЦЕВ А.Н., МЯСНИКОВА М.Г. Диагностика действующего трубопровода с поверхности грунта бесконтактным методом.....	272
ЛЕБЕДЕВА Л.И., БЕЛИКОВ П.П. Прогнозирование силы сочленения прямоугольных электрических соединителей с произвольным количеством контактных пар по результатам определительных испытаний.....	275
ЛУКЪЯНОВ А.В., РОМАНОВСКИЙ А.И. Вибродиагностика несимметрии фазного тока асинхронного электропривода.....	278
ЛУПАЧЁВ А.В., МАЛАШЕНКО Н.В. Причины отказов трубопроводов теплотрасс из предварительно изолированных труб.....	282
ЛУПАЧЁВ В.Г., АКПАНУРОМ М.У., СИДОРОВ В.А., ХМЕЛЕВ А.А. Оценка состояния конструкций по результатам измерения твердости металла.....	284
ЛУПАЧЁВ В.Г., АКПАНУРОМ М.У., МАЛАШЕНКО Н.В. Оценка качества стальных труб для строительства теплотрасс.....	286
МАРКОВ В.В., БЕРНАТ С.В. Ресурсные испытания и контроль технических характеристик светодиодных ламп.....	289
МОИСЕЕВ А.Е. Способ и устройства для мониторинга технического состояния термостатирующих устройств.....	292

УДК 6817.068
**ТЕСТИРОВАНИЕ ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ С
ВСТРОЕННЫМИ ЭМУЛЯТОРАМИ ДАТЧИКОВ**

А. С. СИДОРЕНКО, А. Д. ДЕДКОВ, С. К. КРУТОЛЕВИЧ,
А. А. АФАНАСЬЕВ
ГУ ВПО «БЕЛОРУССКО-РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
Могилев, Беларусь

Автоматизация сбора и обработки технологической информации требует применения датчиков, способных не только вырабатывать сигналы, параметры которых функционально связаны с контролируемыми величинами, но и осуществлять их первичное преобразование, цифровую обработку и хранение для последующего формирования сигналов управления и представления данных в удобном для дальнейшего использования формате.

Этот объем работ обычно выполняется в рамках встраиваемых в АСУ ТП информационно-измерительных систем (ИИС), для которых на этапе проектирования разрабатывается специальное программное обеспечение (ПО), проверка правильности работы которого в реальных условиях и с реальными устройствами требует больших временных и материальных затрат. Поэтому целесообразно тестировать его без использования реальных датчиков, количество которых в современных ИИС варьируется в диапазоне от сотен до тысяч.

Эта проблема решается путем разработки программных эмуляторов датчиков различного назначения с различными техническими параметрами и характеристиками, что позволяет на этапе создания и отладки ПО обойтись без большого количества реальных устройств. Виртуальная имитация работы датчиков ускоряет решение задач, связанных с их идентификацией, калибровкой, обменом данными с центральным блоком управления, отображением измерительной информации в цифровом виде, в виде шкал или диаграмм.

Разработанные на кафедре программные эмуляторы датчиков были использованы при комплексном проектировании объектов. Это позволило сократить сроки создания и запуска, так как с их помощью осуществлялась разработка и отладка ПО, проверялась правильность работы отдельных частей ИИС и объекта до ввода его в эксплуатацию.

Разработаны также программные модули, формирующие удобный пользовательский интерфейс и полностью обеспечивающие имитацию внешних характеристик реальных датчиков, что позволяет осуществлять тестирования систем различного назначения.

Алгоритм управления коммутаторами импульсного генератора и коммутаторами импульсного регулятора обеспечивает перераспределение энергии из молекулярного накопительного конденсатора во второй накопительный конденсатор с последующим перераспределением ее в фазы обмотки ротора. Это позволяет увеличить коэффициент мощности асинхронного двигателя [1, 2].

Алгоритм управления коммутаторами импульсного генератора и коммутаторами импульсного регулятора реализуется при помощи микропроцессорной системы управления. Задача микропроцессорной системы управления состоит в поиске оптимума частоты коммутации, обеспечивающей максимальный отбор энергии из второго накопительного конденсатора.

Значение энергии, перераспределяемой со второго накопительного конденсатора в фазы обмотки ротора, определяется по следующей формуле:

$$W_{сбр} = 2\pi f_{сбр} C_{сбр} U_{пит}^2, \quad (1)$$

где $C_{сбр}$ – емкость второго накопительного конденсатора; $U_{пит}$ – питающее напряжение; $f_{сбр}$ – частота, с которой происходит сброс энергии в фазы обмотки ротора.

При выбранных величинах емкости и напряжения энергия сброса пропорциональна частоте сброса. Поэтому чем выше $f_{сбр}$, тем больше $W_{сбр}$. Но увеличение частоты ведет к увеличению потерь, прежде всего в конденсаторе сброса и во всех элементах схемы, работающих на этой повышенной частоте, поэтому оптимум определяется из соображений максимума частоты сброса и максимума энергии сброса при допустимом уровне потерь в элементах схемы.

Таким образом, благодаря реализации оптимального алгоритма микропроцессорной системой управления происходит уменьшение потерь энергии, потребляемой асинхронным электродвигателем путем емкостной компенсации ее реактивной составляющей, в результате чего повышаются $\cos \Psi$ ротора, $\cos \varphi$ статора, момент и КПД двигателя.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шикуть, Э. В. Импульсный регулируемый электропривод с фазными электродвигателями / Э. В. Шикуть [и др.]. – М. : Энергия, 1972. – 104 с.
2. Селиванов, В. А. Повышение энергетических характеристик регулируемого электропривода с фазным ротором / В. А. Селиванов / Вестн. МГТУ. – 2004 – № 2. – С. 119–122.

МОЛЧАНОВ В.П., КУМПАНИЧ Е.В., КОСИВЦОВ Ю.Ю. Разработка научно-методического обеспечения деятельности центра коллективного пользования сложным научным оборудованием.....	295
ПАВЛОВ И.В., КРАСОВСКАЯ Г.И. Методы неразрушающего контроля подлинности драгоценных, полудрагоценных и поделочных камней.....	298
ПАВЛОВ И.В., КРАСОВСКАЯ Г.И. Электрохимический метод и прибор контроля и идентификации драгоценных металлов и сплавов.....	301
ПЕРЕЛЫГИН В.Н. Определение влияния параметров работы электровозов на температуру его электрооборудования.....	304
ПОДМАСТЕРЬЕВ К.В., МАРКОВ В.В. Информационные признаки технического состояния узлов трения, используемые при проведении трибомониторинга.....	307
ПОНОМАРЕВА О.В. Скользящее параметрическое ДПФ в задачах виброакустического диагностирования объектов.....	310
ПОТАПКИН В.В. Ориентированный поиск и первичная трансформация информативных излучений.....	313
СКАРЫНО Б.Б., АЛШЕВСКАЯ Е.М. Выбор по паспортным данным методики определения параметров схемы замещения асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором	316
ТКАЧЕВ Д.А. Критерии вибродиагностики машин в условиях неопределенности и неполноты априорной информации.....	319
ХОЛОДИЛОВ О.В., БЕЛОНОГИЙ Д.Ю., КОРОТКЕВИЧ С.В., КРАВЧЕНКО В.В. Оперативный контроль подшипников качения по состоянию смазки.....	322
ШЕЙНИКОВ А.А., СУХОДОЛОВ Ю.В. Применение фазоманипулированных сигналов при тестовом диагностировании обмоток авиационных генераторов постоянного тока.....	325

Секция 5. Компьютерные технологии в неразрушающем контроле

БАЗАРЕВСКИЙ В.Э., БРАНЦЕВИЧ П.Ю., ЦХОВРЕБОВ Е.П. Организация настольных и мобильных интернет-ресурсов для решения задач вибрационной диагностики.....	328
БОЛОТОВ С.В., КУРЛОВИЧ И.В., БАНСЮКОВА Е.Л. Программное управление и контроль процесса сварки на конденсаторной машине МТК-1601.....	331
ВИШНЕРЕВСКИЙ В.Т., ЛЕНЕВСКИЙ Г.С. Компьютерные технологии в контроле координат электроприводов с упругими связями.....	334
ВИШНЕРЕВСКИЙ В.Т., ЛЕНЕВСКИЙ Г.С. Контроль характеристик систем с распределенными параметрами.....	336
ГРИШИН С.А., КЛИМЕНТОВСКИЙ В.В. Интеллектуальные	

модули цифровой регистрации электромагнитных излучений высокотемпературных плазменных потоков.....	338
ГУДКОВ С.А., КУДРЯВЦЕВ И.А., ЛУНИН В.П., ЧЕГОДАЕВ В.В., ЖДАНОВ А.Г. Моделирование вихретокового датчика контроля параметров дисперсных сред.....	340
ЕРШОВ Е.В., ВАРФОЛОМЕЕВ И.А., ВИНОГРАДОВ О.А. Интеллектуальная система контроля температуры полимеризации грунтовочного слоя на агрегате полимерных покрытий № 2 ОАО «Северсталь»	343
ЗОЛОТАРЕВ С.А., ВЕНГРИНОВИЧ В.Л. Параллельная коническая реконструкция методом SART в ограниченном угле с одновременной минимизацией тотальной вариации.....	346
КИРПИЧЕНКО Ю.Е., ТАРИКОВ Г.П., КОМРАКОВ В.В., ВАСЬКОВЦОВА Г.А. Программно-технический комплекс для трибодиагностики полимерсодержащих сопряжений.....	348
МАЛУШИН Д.С., ПАСТУХОВ Е.Г. Повышение электромагнитной совместимости в вычислительных системах неразрушающего контроля.....	350
ПРИМАК И.У., ХОМЧЕНКО А.В. Моделирование эрбиевого волноводного усилителя.....	352
СЕЛИВАНОВ В.А., КРУГЛИКОВ С.В. Микропроцессорная система управления энергосберегающего асинхронного электропривода.....	355
СИДОРЕНКО А.С., ДЕДКОВ А.Д., КРУТОЛЕВИЧ С.К., АФАНАСЬЕВ А.А. Тестирование информационно-измерительных систем с встроенными эмуляторами датчиков.....	357
СИДОРЕНКО А.С., КРУТОЛЕВИЧ С.К., АФАНАСЬЕВ А.А., ПРУДНИКОВ В.М. Разработка программного эмулятора интеллектуального датчика.....	358
УТКИН Г.И., МАРКОВ В.В. Теоретические исследования надежности контактных пар разъемных соединителей.....	359

УДК 62.83.52

МИКРОПРОЦЕССОРНАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ
ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩЕГО АСИНХРОННОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА

В. А. СЕЛИВАНОВ, С. В. КРУГЛИКОВ
ГУ ВПО «БЕЛОРУССКО-РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
Могилев, Беларусь

В работе предложена система электропривода на основе асинхронного электродвигателя с фазным ротором с импульсным регулированием и компенсацией реактивной мощности при помощи устройства на основе молекулярного накопителя энергии (рис. 1).

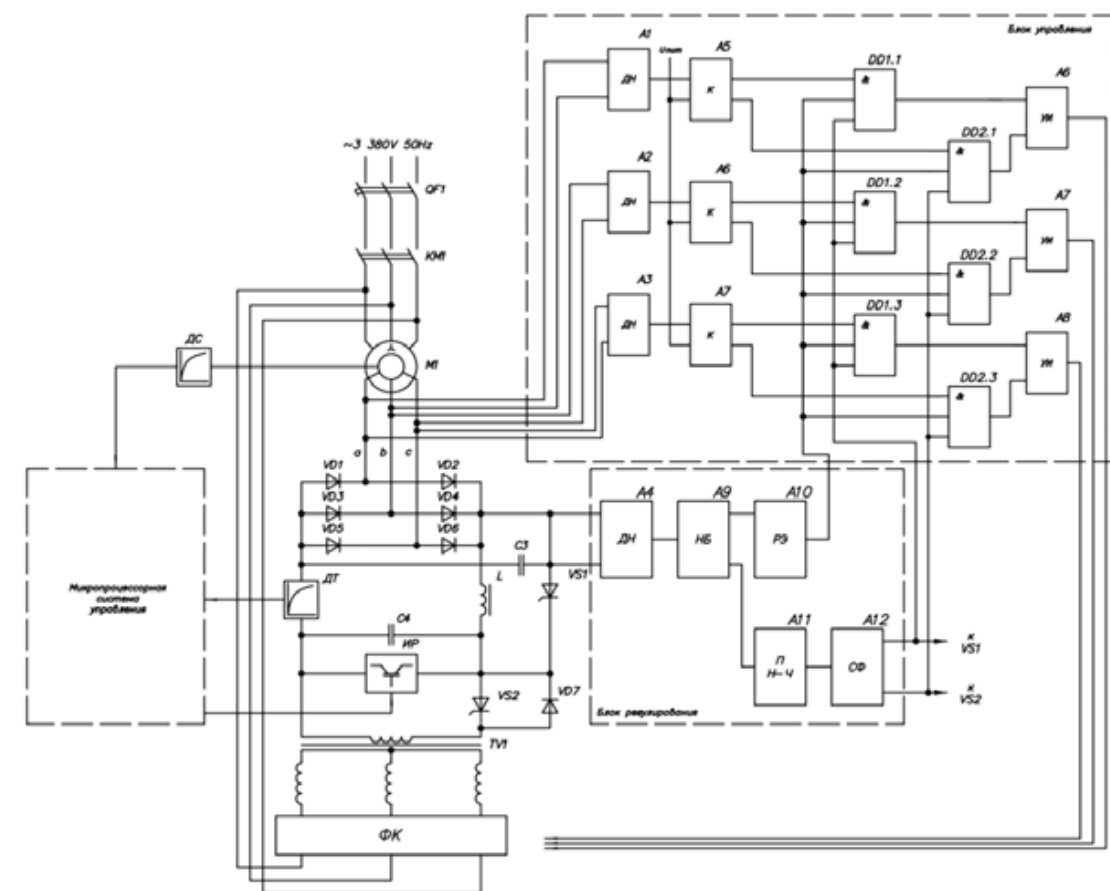


Рис. 1. Функциональная схема асинхронного электропривода с импульсным регулированием и устройством компенсации реактивной мощности

К зажимам постоянного тока выпрямителя, подключенного к фазам ротора асинхронного двигателя с фазным ротором, подключен молекулярный накопитель энергии. К этим же зажимам подключен импульсный регулятор, включающий в себя второй накопитель энергии, импульсный генератор, импульсный трансформатор и фазные коммутаторы. Блок управления и блок регулирования фиксируют текущие значения напряжений в фазах ротора.

В. В. КЛЮЕВ, *Н. П. МИГУН, Б. В. АРТЕМЬЕВ, В. И. МАТВЕЕВ
ЗАО «НИИ интроскопии МНПО «Спектр»
«ИНСТИТУТ ПРИКЛАДНОЙ ФИЗИКИ НАН Беларуси»
Москва, Россия; Минск, Беларусь

Проблемы качества промышленной продукции и безопасности функционирования сложных технических объектов становятся с каждым годом все более актуальными, т.к. в условиях рыночных отношений сбыт продукции напрямую зависит от качества и конкурентоспособности, их надежности функционирования и остаточного ресурса. Необходимо исследовать процент изношенности основных средств, поскольку своевременное выявление нештатных рабочих режимов потенциально опасных, сложных технических объектов позволяет избежать не только колоссальных материальных потерь, но и гибели людей.

Россия и Беларусь обладают сравнительно высоким уровнем развития промышленности, развитой системой магистральных газо- и нефтепроводов, продуктопроводов, широкой железнодорожной сетью. Их промышленный потенциал характеризуется десятками крупнейших машиностроительных предприятий, современными нефтеперерабатывающими предприятиями, тысячами километров трубопроводов, десятками тысяч объектов газо- и нефте-распределительных систем, тысячами километров железных дорог и др. В то же время, например, в Беларуси по данным Госпромнадзора МЧС РБ, отработали сроки службы более 56 % котлов, около 60 % сосудов под давлением, более 80 % грузоподъемных кранов и 34 % лифтов, а с годами ситуация с этими процентами усугубляется.

Уровень развития передовых стран мира на современном этапе характеризуется, прежде всего, показателями качества, надежности и безопасности производимых изделий. Ведь, например, потери только от дефектов усталости металла в США составляют более 100 млрд долл., а от коррозии – более 200 млрд долл. в год [1].

Получение новых результатов фундаментальных и прикладных научных исследований и разработка на их основе современных высокоэффективных приборов и методик неразрушающего контроля и технической диагностики (НК и ТД) позволит решить проблему качества и конкурентоспособности выпускаемой национальной продукции и гарантировать безопасность промышленных, транспортных, энергетических, строительных объектов.

В Беларуси важнейшую роль в решении актуальных задач неразрушающего контроля и технической диагностики, стоящих перед предприятиями и организациями различных отраслей промышленности играет под-

траста m -линии на 30 %. Это означает, что в рассматриваемой схеме измерения, усиление можно не только наблюдать, но и оценивать. Это же подтверждают результаты обработки построенных расчетных m -линий с использованием решения обратной задачи о восстановлении комплексной ПР, полученного в [1]. На рис. 2,б представлены результаты расчетов $\text{Im}\Delta h_s$ на основе формул (2, 3) и результаты восстановления данного приращения при перемещении (сканировании) ПН вдоль направления распространения мод, найденные с помощью такого решения. Моделирование процесса сканирования осуществлялось путем расчета по описанной схеме зависимостей $S_s(\gamma)$ при различных значениях z_0 (z_0 – расстояние между осями пучков (см. рис. 1), причем $z' = z_0$, если ось ПН левее оси ЗП и $z' = -z_0$, если ось ПН правее оси ЗП). При этом предполагалось, что положение ЗП фиксировано и $L = 2$ мм. Оценка погрешностей такого восстановления показывает, что они не превышают 5 %.

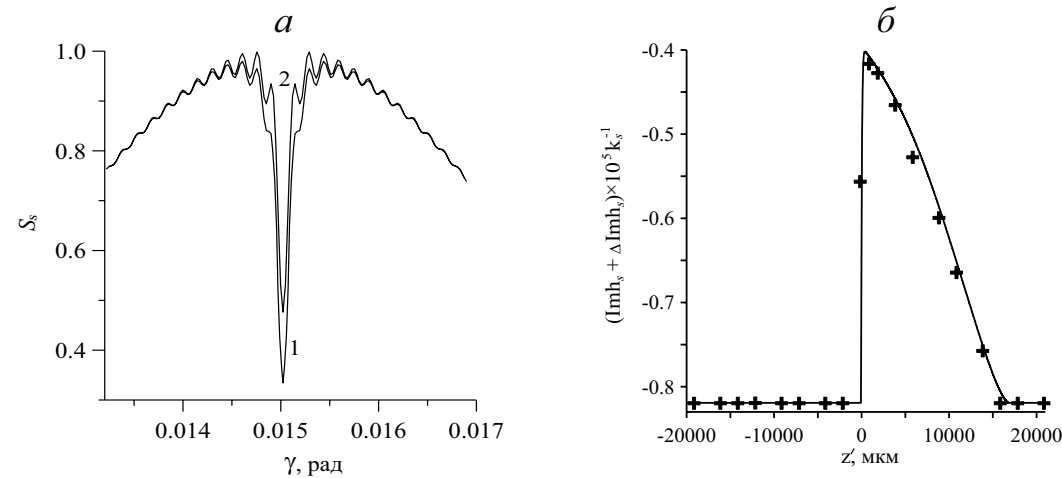


Рис. 2. Угловые распределения интенсивности отраженного от основания призматического устройства ЗП (а) и зависимости мнимой части ПР от координаты z' (б)

На рис. 2, а кривая 1 построена для волноводной структуры без усиления; кривая 2 – для волноводной структуры с усилением. На рис. 2, б кривая соответствует значениям $\text{Im}h_s + \Delta \text{Im}h_s$, рассчитанным на основе формул (2, 3) ($\text{Im}h_s$ – мнимая часть ПР моды в отсутствии усиления), крестики – восстановленным в результате решения обратной задачи

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Сотский А. Б. / А. Б. Сотский [и др.] // Весці НАН Беларусі. Сер. фіз. – мат. – 2010. – № 3. – С. 66 – 74.
2. Сотский, А. Б. / А. Б. Сотский, Л. И. Сотская // Опт. и спектр. – 1998. – Т. 84 – № 2. – С. 260–268.
3. Hyang, W. / W. Hyang, R. A. Syms // J. Lightwave Technol. – 1999. – Vol.17. – № 12. – P. 2658–2664.

программа научных исследований «Техническая диагностика» государственной программы научных исследований «Механика, техническая диагностика, металлургия» (2011–2015 гг.), которая направлена на решение конкретных практических задач в области неразрушающего контроля и технической диагностики. Цель подпрограммы – исследование взаимодействия различных физических полей с материалами, изделиями и элементами конструкций и разработка на основе полученных результатов новых методов, средств и информационных технологий неразрушающего контроля и технической диагностики, обеспечивающих повышение качества промышленной продукции и безопасности эксплуатации сложных технических объектов.

Это научное направление традиционно носит многоотраслевой характер – современные методы и средства НК и ТД востребованы предприятиями министерств промышленности, энергетики, архитектуры и строительства, транспорта и коммуникаций, Министерства по чрезвычайным ситуациям, концерна «Белнефтехим» и др. (этот факт является и определенной гарантией устойчивой востребованности разработок в области НК и ТД). При этом достаточно сильная в Беларуси научная школа в области физики неразрушающего контроля (только в Институте прикладной физики НАН Беларуси (ИПФ НАН Беларуси) 15 докторов и 20 кандидатов наук) позволяет эффективно решать возникающие на предприятиях специфические задачи. В России безусловными лидерами данного направления являются ЗАО «НИИ интроскопии МНПО «Спектр», Институт неразрушающего контроля Томского политехнического университета (ИНК ТПУ) и предприятия, входящие в состав ассоциации «СПЕКТР-ГРУПП».

Важнейшие прикладные задачи неразрушающего контроля и технической диагностики:

- диагностика и мониторинг технического состояния потенциально опасных объектов промышленности, энергетики, строительства, прогнозирование их остаточного ресурса;
- экологический мониторинг;
- техническое обеспечение антитеррористической безопасности.

Для их решения необходимо обеспечить:

- контроль дефектов сплошности материалов и элементов конструкций (трещины, раковины, включения и т.п.);
- контроль структуры и физико-механических свойств материалов (размер зерна, анизотропия структуры, твердость, прочность, влажность, магнитные свойства и др.);
- контроль толщин покрытий, упрочненных слоев, стенок сосудов и других геометрических параметров;
- контроль напряженно-деформированного состояния деталей и элементов конструкций;
- томографическую визуализацию внутреннего строения объектов.

Внедрение современных методов и средств неразрушающего контроля обеспечивает:

до края призмы, отсчитанное вдоль основания призмы, θ – угол (рис. 1). Здесь, $\psi_{s,p}(x,z)$ – распределения полей (компонент напряженности E_x волн ТЕ-поляризации) на основании призмы, которые рассчитываются в результате численного решения системы линейных дифференциальных уравнений первого порядка, описывающих распределения амплитуд мод возбуждаемых ЗП и ПН [2]. При этом в условиях усиления (затухания) для моды возбуждаемой ЗП (ПН) ее амплитуды являются функцией приращения Δh_s , (Δh_p) ПР. В работе для оценки приращений ПР рассматривается четырехуровневая схема ионов эрбия, описываемая системой скоростных уравнений [3]:

$$\begin{cases} dN_1/dt = -(R + W_a)N_1 + (W_e + 1/\tau_{21})N_2 + C_{22}N_2^2 - C_{14}N_1N_4 + C_{33}N_3^2, \\ dN_2/dt = W_aN_1 - (W_e + 1/\tau_{21})N_2 + N_3/\tau_{32} - 2C_{22}N_2^2 - 2C_{14}N_1N_4, \\ dN_3/dt = RN_1 - N_3/\tau_{32} + N_4/\tau_{43} - 2C_{33}N_3^2, \\ dN_4/dt = -N_4/\tau_{43} + C_{22}N_2^2 - C_{14}N_1N_4 + C_{33}N_3^2, \end{cases} \quad (2)$$

где N_1, N_2, N_3, N_4 – населенности уровней 1, 2, 3, 4, $R = R(|\psi_p|^2)$, $W_a = W_a(|\psi_s|^2)$ и $W_e = W_e(|\psi_s|^2)$ – скорости накачки, стимулированного поглощения и люминесценции, τ_{21} – радиационное время жизни на уровне 2, τ_{32} и τ_{43} – безизлучательные времена жизни на уровнях 3 и 4, C_{22} и C_{33} – коэффициенты апконверсии, C_{14} – коэффициент кроссрелаксации. Стационарное решение системы (2), которое находится численно с помощью метода Ньютона [3], позволяет определить коэффициенты усиления $g_s = \sigma_{21}N_2 - \sigma_{12}N_1$ и поглощения $a_p = \sigma_{13}N_3$ (σ_{12}, σ_{21} – сечения поглощения и люминесценции на длине волны λ_s , σ_{13} – сечение поглощения на длине волны λ_p) в требуемой точке волновода 3. При этом мнимые части приращения ПР для мод ТЕ поляризации определяются на основе теории возмущений [2]:

$$\text{Im} \Delta h_s = \frac{n_w^{(s)} \int_{-g}^{-g-d} g_s Y_s^2 dy}{2 \text{Re} h_s \int_{-\infty}^{+\infty} Y_s^2 dy}, \quad \text{Im} \Delta h_p = -\frac{n_w^{(p)} \int_{-g}^{-g-d} a_p Y_p^2 dy}{2 \text{Re} h_p \int_{-\infty}^{+\infty} Y_p^2 dy}, \quad (3)$$

где $n_w^{(s,p)}$ – показатели преломления волновода для заданной длины волны $\lambda_{s,p}$, $Y_{s,p}(y)$ – поперечные распределения полей мод волновода, $\text{Re} h_{s,p}$ – действительные части комплексных ПР мод.

На рис. 2 представлены результаты численного моделирования отражения ЗП от эрбиевого усилителя в стекле (концентрация ионов эрбия $\sim 10^{26} \text{ м}^{-3}$). Рассматривались гауссовы пучки шириной 100 мкм и мощностями 0,1 мВт (ЗП) и 4 Вт (ПН). Согласно рис. 2, а создание инверсии населенности на участке волновода длиной $L=2$ см приводит к изменению кон-

И. У. ПРИМАК, А. В. ХОМЧЕНКО
 ГУ ВПО «БЕЛОРУССКО-РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
 Могилев, Беларусь

В данной работе проводится теоретическое моделирование волноводно-го эрбиевого усилителя (EDWA), моды которого возбуждаются с помощью призмного устройства связи (рис. 1). Рассматривается ситуация когда реализуется одновременное возбуждение двух мод с помощью пучка накачки (ПН) и зондирующего пучка (ЗП), имеющих длины волн $\lambda_p = 0,980$ мкм и $\lambda_s = 1,535$ мкм соответственно. При этом одна из мод создает инверсию населенности энергетических уровней в волноводе 3 и испытывает дополнительное затухание, а вторая мода в данных условиях – усиление. Постоянные распространения (ПП) этих мод характеризуются приращениями, которые можно определить, проанализировав модификации регистрируемых матрицами фотоприемников 7 и 8 m-линий (угловых распределений интенсивности отраженных от призмы пучков) [1].

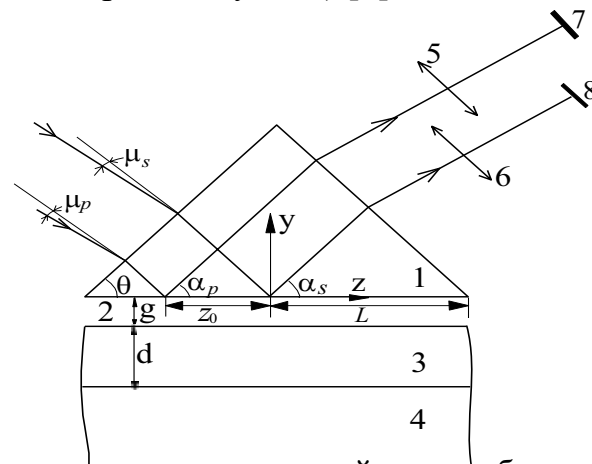


Рис. 1. Схема призмного устройства возбуждения волновода: 1 – призма; 2 – буферный слой (воздух); 3 – волноводная пленка легированная эрбием; 4 – подложка; 5, 6 – линзы; 7, 8 – матрицы фотоприемников

Согласно [1] угловые распределения интенсивности отраженных от основания призмного устройства ЗП и ПН определяются как :

$$S_{s,p}(\gamma) = T_{s,p} \left| (2\pi)^{-2} \int_{-\infty}^{\infty} dx \int_{-\infty}^L \psi_{s,p}(x,z) \exp[ik_z^{(s,p)}(\gamma)z] dz \right|^2, \quad (1)$$

где $T_{s,p}$ – коэффициенты, учитывающие отражение ЗП и ПН на боковых гранях призмы, $k_z^{(s,p)} = k_{s,p} (\sin \theta \sqrt{(n_p^{(s,p)})^2 - (n_a^{(s,p)} \sin \gamma)^2} - n_a^{(s,p)} \cos \theta \sin \gamma)$, $k_{s,p} = 2\pi / \lambda_{s,p}$, $n_p^{(s,p)}$ и $n_a^{(s,p)}$ – показатели преломления призмы и окружающей ее среды для заданной длины волны $\lambda_{s,p}$, L – расстояние от оси пучка

– соответствие технических характеристик продукции проектным характеристикам, оговоренным в нормативно-технической документации (качество и конкурентоспособность продукции);

– уменьшение потерь материала и энергии на технологическую обработку благодаря своевременному выявлению дефектных заготовок, невыявлению толщин защитных покрытий и упрочненных слоев заданным в документации и т.п. (материало- и энергосбережение);

– повышение показателей надежности и долговечности объектов, наработки на отказ посредством снижения количества невыявленных дефектов (надежность и безопасность).

Для анализа перспектив развития фундаментальных и прикладных исследований в области НК и ТД в наших странах можно привести ряд примеров.

Экспериментальные результаты исследования взаимодействия неоднородных упругих волн с поверхностями отражения при различных граничных условиях легли в основу разработанных в ИПФ НАН Беларуси принципиально новых методик и соответствующих измерительных средств для ультразвукового контроля дефектов поршней дизельных двигателей. Например, создана автоматизированная ультразвуковая установка для выявления дефектов соединения нирезиновой вставки с материалом поршня и оценки их протяженности, позволяющая осуществлять разбраковку в соответствии с введенными параметрами браковочного уровня (рис. 1).

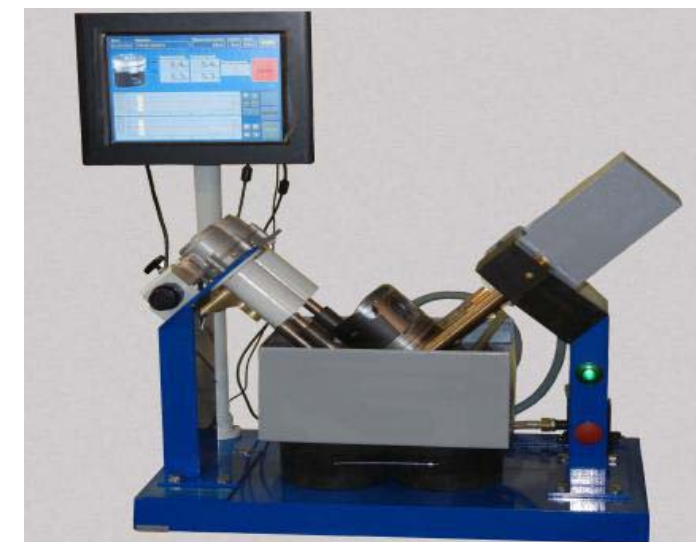


Рис. 1. Установка для неразрушающего контроля качества сцепления нирезиновых вставок в поршнях дизельных двигателей

В результате впервые реализован стопроцентный ультразвуковой контроль заготовок поршней двигателей внутреннего сгорания в потоке производства. Модификации аппаратуры для контроля поршней разных типоразмеров (как готовых изделий, так и заготовок) применительно к условиям предприятий-заказчиков внедрены на ряде предприятий Беларуси и России

(Минский моторный завод, Ярославский моторный завод, Камский моторный завод и др.). В настоящее время завершается работа по разработке, изготовлению и поставке на Камский моторный завод новой универсальной установки для ультразвукового контроля качества сцепления элементов поршней дизельных двигателей для 18-и типоразмеров поршней и заготовок поршней.

На основе изучения характера перемагничивания структурно неоднородных стальных и чугунных изделий, имеющих дефекты сплошности, в этом же институте предложены эффективная методика и вихретоковый прибор с 16-ю измерительными преобразователями, которые используются в составе автоматизированной установки для стопроцентного контроля металлургических дефектов гильз дизельных двигателей в потоке производства на Минском моторном заводе. Аппаратура позволяет осуществлять бесконтактный неразрушающий контроль в потоке производства гильз дизельных двигателей при высокой шероховатости поверхности, под слоем краски, покрытия, в бесконтактном варианте (зазор до 5 мм). Выявляются как продольные, так и кольцевые дефекты сплошности наружной и внутренней поверхностей гильз дизельных двигателей. Повышение достоверности контроля достигнуто за счет оригинальной методики отстройки от влияния мешающих факторов (структурных неоднородностей материала, грубой поверхности).

Поскольку в машиностроении все возрастают объемы применения чугунных отливок со структурой высокопрочного чугуна, весьма перспективной и востребованной является разработка приборов для разбраковки чугунных отливок в зависимости от структуры, определяемой формой графитовых включений. Разработанный в ИПФ НАН Беларуси ультразвуковой индикатор структуры чугунных отливок (рис. 2) позволяет оперативно определять структуру чугуна (высокопрочный или серый) непосредственно в отливках.



Рис. 2. Индикатор высокопрочного чугуна ИЧ-21

В приборе использована взаимосвязь между параметрами распространения упругих волн (скорость, коэффициент затухания) со структурой и ме-

работе особо чувствительных приборов и систем НК, питающихся от той же сети.

Задачу повышения коэффициента полезного действия и оптимизирования электромагнитной совместимости устройства можно частично свести к увеличению его коэффициента мощности.

Численное значение коэффициента мощности для стандартного блока питания составляет не более 0,46, в то время как значение для предлагаемого блока превышает 0,95.

Более того, структура предлагаемого блока питания полностью исключает наличие реактивных гармонических искажений Q , т. к. согласно разработанной системе управления, втекающий в устройство ток принципиально совпадает по фазе с входным напряжением.

В совместной работе между университетом, фирмой "Рен-сервис" (г.Москва) и Высшей технической школой города Констанц (Германия) коллективом авторов данной статьи была разработана и испытана качественно новая топология электрической схемы блока питания, позволяющая значительно повысить коэффициент полезного действия (КПД) устройства, улучшить его электромагнитную совместимость и отказаться от применения в его конструкции вентилятора, представляющего собой основной источник акустического шума.

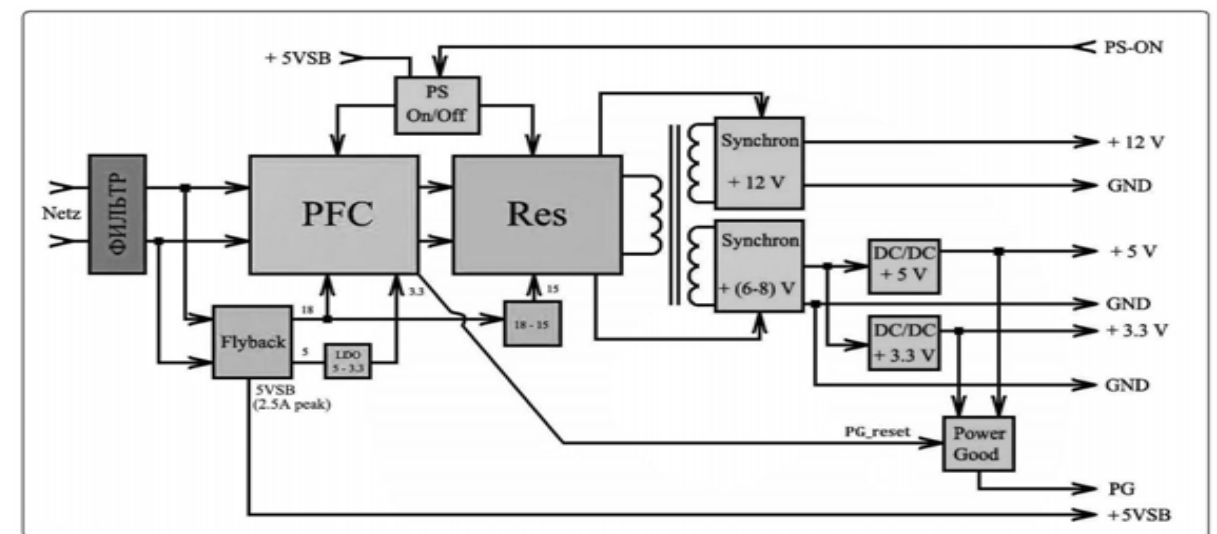


Рис. 2. Блок-схема предлагаемого блока питания

Помимо этого, были также получены замкнутые математические выражения для расчёта и оптимизации потерь мощности в блоках питания вычислительных систем НК такого типа.

Практические испытания разработанного опытного образца блока питания на электромагнитную совместимость показали вполне удовлетворительные результаты, соответствующие европейским нормам EN55022 (класс D).

Лабораторные исследования выявили отличные показатели, как по электромагнитной совместимости, так и по общему К.П.Д, величина которого оказалась не меньше 91 % в полном диапазоне изменения нагрузки.

Д. С. МАЛУШИН, Е. Г. ПАСТУХОВ
НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ «МЭИ»
Москва, Россия

С учётом нарастающей популярности компьютеризации процесса проведения неразрушающего контроля, целесообразно ставить задачу повышения коэффициента полезного действия вторичных источников питания вычислительных систем НК, а также снижения уровня помех, вносимых в электрическую сеть подобными устройствами.

Одним из возможных способов снижения уровня потребления и загрязнения электроэнергией, является использование высокоэффективных преобразователей энергии. Помимо прочего, повышение КПД устройства подразумевает ряд дополнительных преимуществ, таких как: оптимизация массогабаритных параметров целевого прибора (и как следствие, повышение его мобильности), а так же повышение надёжности отдельных блоков и узлов устройства, и т.д.

Легко показать, что применение стандартных компьютерных блоков питания в процессе проведения неразрушающего контроля, сопряжено со значительными энергетическими затратами. И как следствие, коэффициент полезного действия таких устройств мал (обычно он не превышает 60–70 %).

Помимо низкого коэффициента полезного действия существующие блоки питания обладают ещё одним существенным недостатком. Он связан с тем, что форма тока потребляемого от сети таким блоком имеет вид короткого импульса большой амплитуды. Быстро изменяющееся мгновенное значение входного тока создаёт существенные электромагнитные помехи в широком диапазоне частот. Спектральный состав электромагнитной помехи представлен ниже.

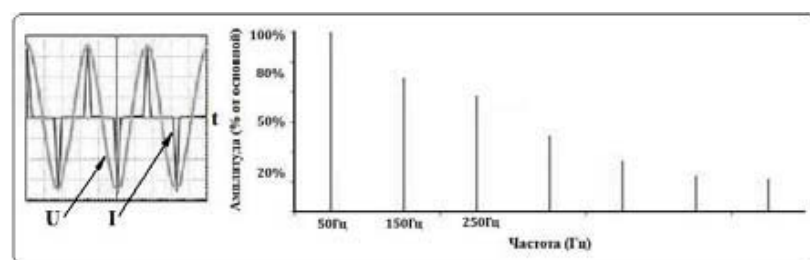


Рис. 1. Спектральный состав электромагнитной помехи

Подобные помехи приводят к образованию, так называемой мощности, искажений, определяющей дополнительные энергетические потери как в питающих кабелях, так и в системе в целом. Помимо этого, электромагнитное "загрязнение" линии может послужить причиной функционального сбоя в

механическими свойствами чугуна. В основе лежит сравнение истинного линейного размера отливки с расчетными показаниями, полученными из измерения прибором временного промежутка, необходимого акустическому сигналу для преодоления расстояния между преобразователями, установленными на противоположных поверхностях отливки. Результаты измерения индикатором не зависят от формы отливки, причем ее подготовка к контролю требует только дробеструйной очистки от окалины. Десятки этих приборов внедрены на предприятиях Беларуси. Перспективы совершенствования приборов связаны с повышением достоверности контроля, локальности зоны контроля, с обеспечением возможности контроля отливок при одностороннем доступе.

Крупным достижением последних лет является установление закономерностей распространения упругих волн, создаваемых ультразвуковым преобразователем с локальным акустическим контактом, в деталях и заготовках с поверхностно упрочненными слоями. Проведены исследования с целью разработки акустического метода неразрушающего контроля толщины поверхностного слоя в металлах, закаленных после цементации. До недавнего времени оценка этой величины производилась по результатам металлографических исследований. Однако результаты металлографической оценки имеют низкую точность, так как во многом зависят от субъективных факторов. Для решения поставленной задачи предложен способ измерения путем использования поверхностных акустических волн в заданном диапазоне частот. Частота определяет глубину проникновения упругой энергии в изделие. Изменение структуры в результате закалки приводит к перераспределению направления микросмещений в распространяющейся волне. Фиксируются эти изменения по скорости распространения волны. Разработана соответствующая методика исследований и первичные преобразователи, обеспечивающие ввод колебаний в заданном диапазоне частот, проведены исследования, позволившие получить корреляционные зависимости для определения толщины переходного слоя на стальных деталях при закалке после цементации по градиенту скорости распространения поверхностных упругих волн от низких (0,5 МГц) до высоких (5 МГц) частот. В результате в ИПФ НАН Беларуси разработана уникальная аппаратура для ультразвукового контроля толщины поверхностно упрочненных слоев, полученных закалкой ТВЧ и цементацией, внедренная на ряде предприятий (Минский автомобильный завод и др.).

Развивается импульсный магнитный метод неразрушающего контроля структуры и механических характеристик ферромагнитных материалов и изделий. Выполнен широкий комплекс исследований, позволивших установить взаимосвязи между механическими и магнитными характеристиками ферромагнитных сталей после различных видов механической и термической обработки. Установлены закономерности влияния температур закалки и отпуска коротких полых цилиндрических тел из конструкционных сталей, моделирующих широко используемые на практике детали машиностроения (гай-

ки, шайбы и др.), на параметры их петель гистерезиса при импульсном режиме намагничивания сериями импульсов с изменяющимися амплитудами. С использованием ряда измеренных магнитных параметров получено выражение, устанавливающее однозначную связь между ними и величиной твердости исследованных тел при различных условиях закалки и отпуска. Это обеспечивает возможность неразрушающего контроля твердости указанных машиностроительных деталей и заготовок после объемной термической обработки.

В результате проведенных исследований в ИПФ НАН Беларуси разработан и внедрен прибор ИМА-М для импульсного магнитного многопараметрового контроля твердости изделий машиностроения (стальных заготовок зубчатых колес и гаек), подвергаемых закалке и высокотемпературному отпуску. Другой прибор, импульсный магнитный анализатор ИМА-4М, предназначен для неразрушающего контроля механических свойств (твердость, предел прочности, предел текучести, относительное удлинение при разрыве) и микроструктуры (балл зерна) изделий из низкоуглеродистых сталей толщиной от 0,15 до 4 мм. С его помощью осуществляется и контроль ряда среднеуглеродистых и низколегированных холоднокатаных, а также некоторых горячекатаных сталей. Перспективы расширения внедрения этих приборов и установок связаны с получением новых результатов исследований взаимосвязи механических и магнитных свойств, которые позволят производить контроль с более высокой чувствительностью и производительностью.

В этом же институте ведутся работы по применению метода высших гармоник для контроля твердости поверхностного слоя стальных изделий после поверхностного упрочнения ТВЧ. Разработаны приборы типа НТ, принцип действия которых основан на том, что контролируемый участок перемещается переменным магнитным полем возбуждения синусоидальной формы, создаваемым накладным преобразователем, а о твердости судят на основе измерения амплитуды определенной высшей гармонической составляющей вторичной э.д.с. преобразователя. Установлена связь между твердостью и амплитудами высших гармоник. При указанном способе контроля отсутствует механическое воздействие на контролируемое изделие, причем преобразователь может иметь небольшие геометрические размеры, что позволяет проводить контроль твердости в местах, где затруднен контроль другими приборами, например, в отверстиях, узких пазах. Прибор НТ применяется на многих предприятиях Беларуси, в частности, с его помощью проводится контроль твердости коренных и шатунных шеек коленчатых валов на РУП «ММЗ».

Ультразвуковые дефектоскопы и томографы широко применяются для контроля сварных швов деталей и узлов авиатехники. Томограф A1550 IntroVisor (рис. 3) существенно упрощает и ускоряет процедуру контроля. Для контроля используется 16-ти элементная широкополосная АР поперечных волн, обеспечивающая обзор в широком секторе, начиная от середины

шины трения. Программно-технический комплекс включал в себя модернизированную машину трения 2070 СМТ-1, блок сопряжения выходных аналоговых сигналов усилителей электромеханических преобразователей параметров трения и ЭВМ, оснащенную специально разработанными программами.

Для адаптации машины трения 2070 СМТ-1 к условиям проведения испытаний была проведена модернизация механизма нагружения. Равномерность распределения нагрузки при изменении силы трения обеспечивалась заменой штатного держателя образцов на специально разработанный. Основной конструктивной особенностью разработанного держателя являлось наличие двух шарнирных опор, связанных между собой упругим элементом, заключенным в металлический корпус. Для автоматической установки уровня нагрузки в блок нагружения был вмонтирован электромеханический привод деформации винтовой пружины.

Блок сопряжения представлял собой универсальный адаптер аналого-цифрового вывода ADCS24-2T с микропроцессором, преобразующим первичную информацию, поступающую от датчиков силы трения, скорости перемещения образцов, числа циклов взаимодействия и т.д. в формат удобный для дальнейшей обработки на ЭВМ с помощью языков программирования высокого уровня. Была также проработана возможность, в случае отсутствия специализированной платы, использования звуковой карты, входящей в комплект персонального компьютера. Кроме того, блок сопряжения осуществлял контроль над ходом проведения испытаний путем преобразования команд поступающих от ЭВМ, сформированных в результате обработки и анализа первичной информации, поступающей от датчиков машины трения.

Программа обработки сигналов систем измерения параметров трения и фрикционных характеристик позволяла:

- отображать на дисплее компьютера кинетику изменения коэффициента трения, температуры, износа в реальном масштабе времени;
- производить расчет минимального, среднего и максимального значения коэффициента трения, износа и температуры в течение эксперимента;
- формировать файл для сохранения полученных данных.

Проведенные на (ПТК) испытания известных антифрикционных материалов на основе полимеров показали снижение трудоемкости и увеличение воспроизводимости полученных данных.

УДК 621. 891

ПРОГРАММНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ
ТРИБОДИАГНОСТИКИ ПОЛИМЕРСОДЕРЖАЩИХ СОПРЯЖЕНИЙ

Ю. Е. КИРПИЧЕНКО, Г. П. ТАРИКОВ, В. В. КОМРАКОВ,
Г. А. ВАСЬКОВЦОВА
УО «ГОМЕЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ им. П. О. Сухого»
Гомель, Беларусь

Для повышения достоверности прогнозирования технических параметров полимерсодержащих узлов трения необходимо знание закономерностей изменения триботехнических характеристик от силовых и кинематических параметров и, в первую очередь, от давления в контакте, и скорости скольжения. Косвенной формой оценки износостойкости является критерий PV, представляющий произведение нормального давления в контакте на скорость скольжения. Потеря работоспособности узлов трения, в которых используются полимерсодержащие материалы, в зависимости от длительности фрикционного взаимодействия, возможна при кратковременном достижении температуры в зоне контакта некоторого порогового значения и превышении интенсивности изнашивания величины определяющей ресурс эксплуатации машины или механизма. В первом случае происходит частичная или полная потеря упругих свойств, а во втором интенсификация трибодеструкции макромолекул полимеров с переходом к другому виду изнашивания. Трение и изнашивание полимеров и композитов на их основе также во многом определяется процессом формирования слоев фрикционного переноса, который зависит от программы проведения испытаний, устанавливающей порядок задания параметров испытаний и продолжительность действия того или иного фактора.

Программа определения предельных значений параметров трения включает в себя следующие этапы:

– ряд промежуточных предельных значений нагрузки определяется от уровня предельного значения нагрузки в статистике до минимального значения при ступенчатом увеличении скорости скольжения;

– на каждой ступени скорости скольжения испытания проводятся до достижения постоянства температуры и коэффициента трения в зоне контакта. Длительность работы в стабильном режиме составляет 15–20 минут;

– скорость скольжения увеличивается на ступень и испытания повторяются на тех же образцах. Скорость скольжения, выше которой отсутствует стабилизация температуры и коэффициента трения в зоне контакта, считается предельной для заданной нагрузки.

Для реализации приведенной программы испытаний был разработан программно-технический комплекс (ПТК) на базе серийно выпускаемой ма-

пертуры AP, и до эквивалентных углов ввода порядка 75° – 80° относительно нормали к краю апертуры.



Рис. 3. Ультразвуковой томограф A1550 IntroVisor

Проведенные совместно с ОКБ «Сухой» исследования позволили рекомендовать разработанные специалистами ЗАО «НИИ интроскопии МНПО «Спектр» метод и ультразвуковой томограф A1550 IntroVisor с многоэлементной антенной решеткой и алгоритмы фокусировки к применению при контроле многослойных композитных изделий. УЗ томограф A1040 «Полигон» предназначен для обследования железобетонных конструкций (рис. 4).



Рис. 4. УЗ томограф A1040 «Полигон»

Системы вихретокового и магнитного контроля для контроля напряженно-деформированного состояния металлоконструкций, изготовленных из магнитных марок конструкционных сталей, например, магнитный структуроскоп MS-10 (рис. 5).



Рис. 5. Магнитный структуроскоп MC-10

Разработанные в НИИ интроскопии вихретоковые средства НК обеспечивают поиск дефектов через изоляционные покрытия значительной толщины и определение толщины гальванических электропроводящих покрытий.

Магнитный толщиномер покрытий МТ-23МП (рис. 6) предназначен для измерения толщины никелевых покрытий на немагнитном основании. Выгодно отличается от аналогов наличием блока температурной стабилизации. Высокая точность измерения достигается путем намагничивания объекта контроля под преобразователем до состояния насыщения. Толщиномер имеет следующие характеристики: диапазон измерений, мкм: от 30 до 600, предел допускаемой основной относительной погрешности $\delta_{осн}$ - +5мкм +5%.



Рис. 6. Магнитный толщиномер покрытий МТ-23МП

Многоканальный вихретоковый дефектоскоп ВД-91НМ (рис. 7) позволяет обнаружить стресс-коррозионные трещины на трубе под слоем изоляции, оценить их глубину и расположение, документировать результаты обследования и провести компьютерную обработку и выдать рекомендации о сроках безопасной эксплуатации труб. Прибор обладает высоким разрешением при обнаружении дефектов в сварных соединениях и обеспечивает сохранение результатов контроля и др.

Метод минимизации тотальной вариации применяется на каждой итерации SART. Для обесшумливания всего трехмерного изображения производится послойная минимизация тотальной вариации.

На рис. 1 показан реконструированный слой методом SART без априорной поддержки, а второй с априорной поддержкой (минимизация тотальной вариации). Даже визуальный анализ показывает значительное улучшение качества изображения при использовании метода TV.

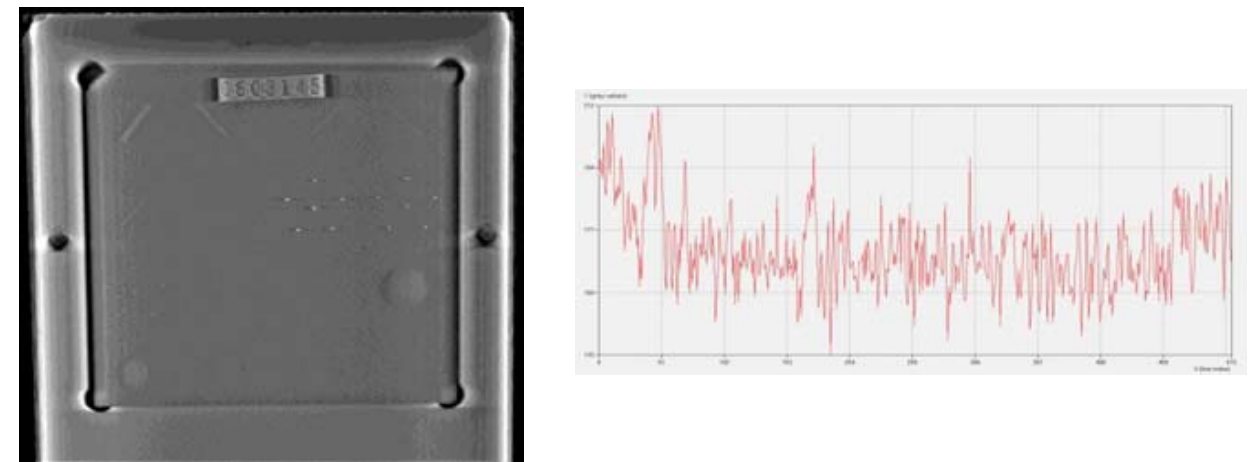


Рис. 1. Изображение и осциллограмма одного из слоев реконструированного без априорной поддержки цифрового изображения фантома CIRS Model 015

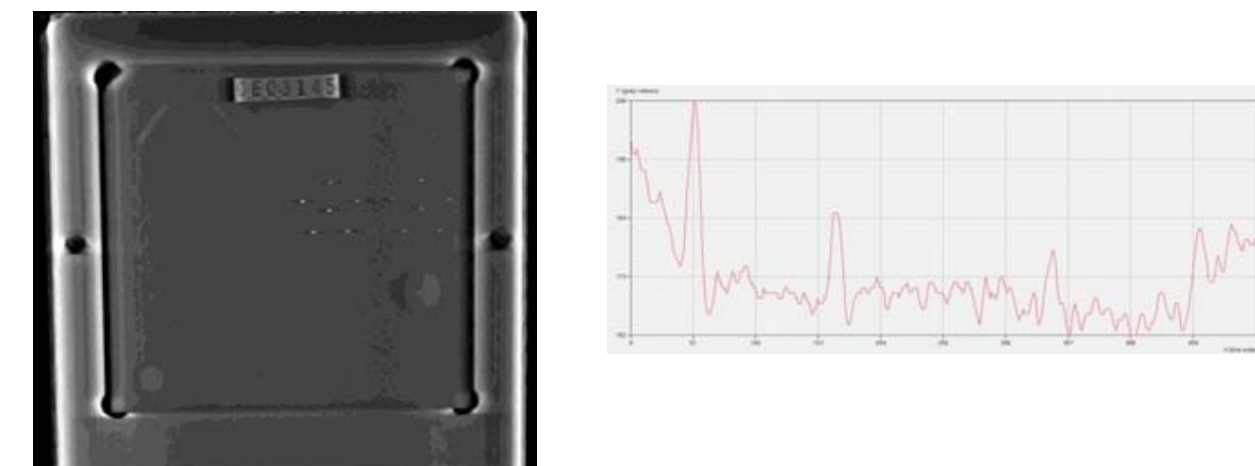


Рис. 2. Изображение и осциллограмма одного из слоев реконструированного с априорной поддержкой цифрового изображения фантома CIRS Model 015

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Zolotarev, S. A.**, Vengrinovich V.L. and Tillack G.-R. 3D Reconstruction of Flaw Images with Inter -Iterational Suppression of Shadow Artefacts. Rev. Prog. in QNDE. – Vol 16, ed. by D.O. Thompson and D.E. Chimenti, Plenum Press New-York, 1997
2. **Венгринович, В. Л.** Золотарев С.А. Итерационные методы томографии / В. Л. Венгринович, С. А. Золотарев. – Минск: «Белорусская наука», 2009. – 227 с.

УДК 620.179.15
ПАРАЛЛЕЛЬНАЯ КОНИЧЕСКАЯ РЕКОНСТРУКЦИЯ МЕТОДОМ SART
В ОГРАНИЧЕННОМ УГЛЕ С ОДНОВРЕМЕННОЙ МИНИМИЗАЦИЕЙ
ТОТАЛЬНОЙ ВАРИАЦИИ

С. А. ЗОЛОТАРЕВ, В. Л. ВЕНГРИНОВИЧ
ГНУ «ИНСТИТУТ ПРИКЛАДНОЙ ФИЗИКИ НАН Беларуси»
Минск, Беларусь

В промышленной томографии по разным причинам проекционный набор, как правило, не может быть полным, а обзор изделия – всесторонним. В этих случаях алгоритмы классической томографии не работают и используются, так называемые, итерационные методы реконструкции изображений, когда конечное изображение достигается методом последовательных приближений при некоторых ограничениях, накладываемых на это изображение, и называемых обычно априорной информацией об объекте [1]. При этом существенно расширяется спектр возможностей по уменьшению объема исходной проекционной информации.

Томографическая реконструкция с использованием алгебраических методов сводится к решению следующей системы алгебраических уравнений

$$P_i = \sum_{j=1}^N w_{ij} v_j \quad (1)$$

SART решает эту систему уравнений итерационным способом, при котором коррекция значения в j -ом вокселе, для всех вокселей, принадлежащих области реконструкции, производится одновременно на текущей итерации с номером k .

В монографии [2] авторами был разработан способ аппаратного ускорения алгоритма SART на основе использования графических процессоров. Он позволил на один - два порядка ускорить саму процедуру реконструкции, но для обеспечения высокого пространственного разрешения реконструируемого трехмерного изображения в данной работе предлагается регуляризировать процедуру реконструкции путем использования минимизации тотальной вариации.

Минимизация тотальной вариации (TV) – это метод нелинейного обесшумливания изображений путем минимизации TV изображения с помощью градиентного спуска. Модель анизотропной тотальной вариации для удаления шума в исходном изображении f может быть представлена как задача минимизации выражения:

$$\min_u \left[\|\nabla_x u\|_1 + \|\nabla_y u\|_1 + \frac{\mu}{2} \|u - f\|_2^2 \right], \quad (2)$$

где μ – выбранный положительный параметр.



Рис. 7. Многоканальный вихретоковый дефектоскоп ВД-91НМ и портативный ПК

Возможности магнитопорошкового контроля изделий из ферромагнитных материалов при их производстве и эксплуатации показаны на примере автоматизированной системы (компания ЮНИТЕСТ) для контроля объектов авиационной, автомобильной, нефтегазовой промышленности, железнодорожного транспорта и трубопрокатного производства. Метод весьма эффективен при контроле изменений структуры ответственных деталей из ферромагнитных материалов. В частности, Магнитоскоп-К для магнитопорошкового контроля цельнокатаных колес железнодорожных вагонов обладает следующими параметрами: электропитание от сети напряжением 220 В, 50 Гц, масса дефектоскопа с максимальным током 4000 А – 27 кг, а с максимальным током 1000 А – 12 кг.

Другая компания, ДНТЦ «Дефектоскопия», разработала модульный магнитопорошковый дефектоскоп МД-М для контроля деталей в условиях эксплуатации военных и гражданских летательных аппаратов. Дефектоскоп состоит из 3-х модулей: импульсного, соленоида и электромагнита. В каждом модуле имеется по 10 ячеек памяти для записи режимов намагничивания и размагничивания. Максимальный импульсный ток через намагничивающий кабель сечением 10 мм² – 5000 А.

В ИПФ НАН Беларуси предложен новый магнитодинамический метод измерений применительно к магнитной толщинометрии защитных покрытий. Разработан и внедрен ряд уникальных приборов для магнитного контроля толщин толстослойных никелевых, двухслойных (хромовых и никелевых) и слабомагнитных металлокерамических покрытий. Магнитные толщинометры защитных покрытий МТЦ-2М и МТЦ-3 (рис. 8, а) внедрены на ряде промышленных предприятий Беларуси (МТЗ, МАЗ, БелАЗ и др.). Созданы методики, приборы и осуществлено их метрологическое обеспечение применительно к контролю специальных покрытий ракетных двигателей. Разработанные приборы и меры толщин покрытий внесены в Госреестр средств из-

мерений Российской Федерации. Магнитный толщиномер МТНП (рис. 8, б) позволяет осуществлять контроль защитных толстослойных никелевых покрытий (0 – 1000 мкм) на немагнитных и слабомагнитных сталях и сплавах. Магнитный толщиномер МТДП-1 предназначен для отдельного контроля слоев в двухслойных (хром (0 – 300 мкм) + никель (0 – 1000 мкм)) защитных покрытиях на немагнитных и слабомагнитных сталях и сплавах. Магнитный толщиномер МТКП-1 позволяет осуществлять контроль слабомагнитных металлокерамических защитных покрытий (0 – 300 мкм) на немагнитных и слабомагнитных сталях и сплавах. Толщиномеры специальных защитных покрытий и меры внедрены на Воронежском механическом заводе и ОАО «Металлист-Самара». Прорабатываются варианты разработки и поставки новых толщиномеров, имеющих более высокую чувствительность и более широкий диапазон измеряемых толщин покрытий. Ближайшие перспективы более широкого внедрения магнитных толщиномеров защитных покрытий связаны с планируемой разработкой нового типа прибора, объединяющего функции двух методов: магнитодинамического и вихретокового.

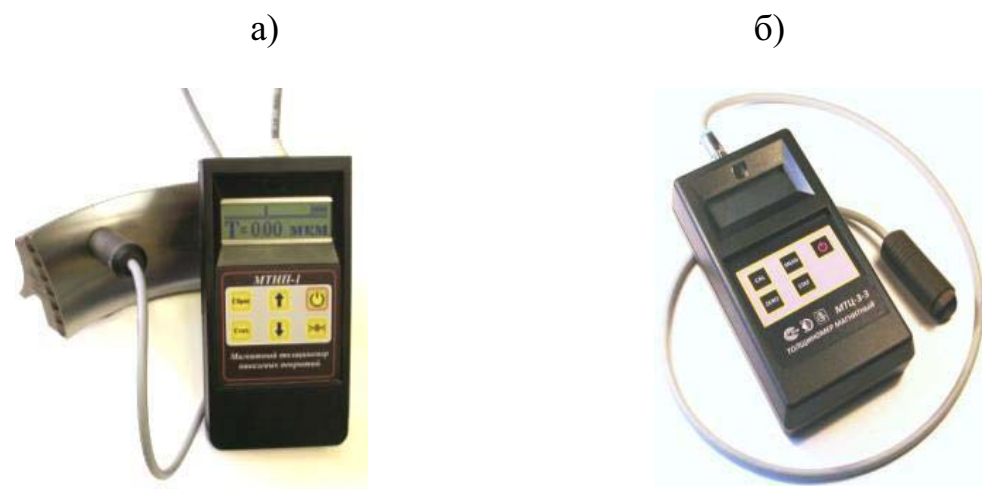


Рис. 8. Магнитные толщиномеры защитных покрытий МТЦ-3 (а) и МТНП-1 (б)

Последние годы активно развивается метод динамического индентирования для контроля физико-механических свойств материалов. В ИПФ НАН Беларуси установлены новые закономерности, характеризующие взаимосвязь между шероховатостью и жесткостью контролируемого объекта и параметрами ударного взаимодействия с ним жесткого индентора, позволившие предложить эффективную методику отстройки показаний динамических твердомеров от влияния шероховатости и жесткости объектов и, тем самым, значительно расширить диапазон применимости динамических твердомеров. Разработана соответствующая аппаратура для контроля нежестких тонкостенных металлоконструкций. Прибор ИМПУЛЬС-2М для контроля механических свойств стальных деталей предназначен для контроля твердости и

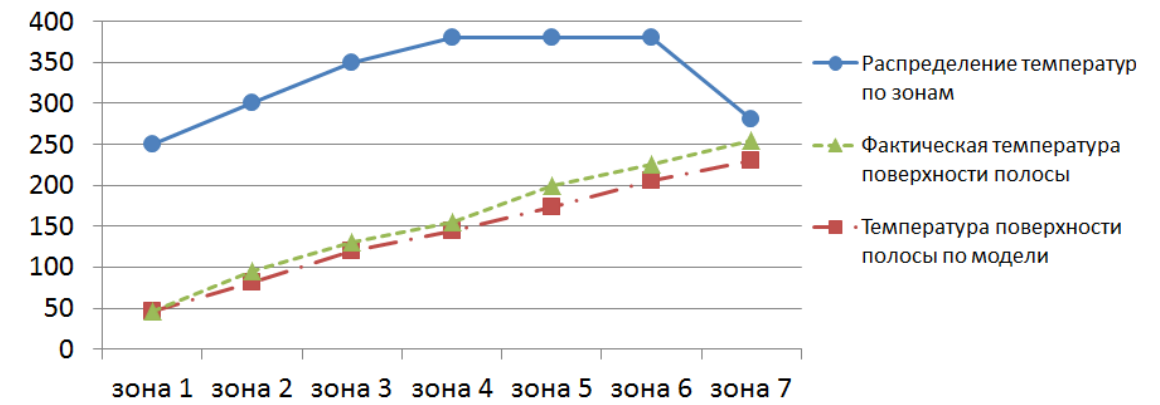


Рис. 2. Распределение температуры по зонам печи

Фактическая температура поверхности полосы и рассчитанная по модели отличаются на 5–7 % по зонам печи. Это связано с тем, что в модели учитывались не все характеристики объекта. Так, не было учтено взаимное влияние температур соседних зон в печи. Тем не менее, температура поверхности полосы, рассчитанная с использованием модели, попала в диапазон допустимых температур полимеризации. Таким образом, при данных допущениях работу модели можно считать адекватной.

На основе имитационного исследования режимов управления с помощью идентифицированной модели стабилизации температуры печных зон, был реализован и протестирован алгоритм контроля температуры полимеризации в грунтовочной печи агрегата полимерных покрытий № 2 ОАО "Северсталь".

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Matamoros, S.** Подробное описание печной установки для печи грунтовочного слоя и печи отделочного слоя и термореактора АПП [Текст] / Matamoros S. //Леверкузен, Германия: gatv mbH, 2005. – 55 с.
2. **Кудинов, И. Ю.** Интеллектуальные технологии моделирования и управления многосвязными объектами / И. Ю. Кудинов // Информационные технологии. Приложение. – 2011 – № 3. – С. 1–32.

нято считать, что для печи грунтовочного слоя температура полимеризации попадает в диапазон 220–250 °С независимо от типа лака. Нагрев осуществляется путем задания температур всех семи зон печи. При определении температур зон печи необходимо учесть взрывоопасность лака. При достижении концентрации взрывоопасных газов отметки в 30 % происходит аварийная остановка работы агрегата. Распределение температур по зонам печи также зависит от скорости движения полосы, определяемой заданием на смену, габаритов полосы и толщины покрытия [1].

Выполнение основных этапов построения нечёткой динамической модели [2] позволило определить связи между входными и выходными параметрами модели. Общая структурная схема модели представлена на рис. 1.

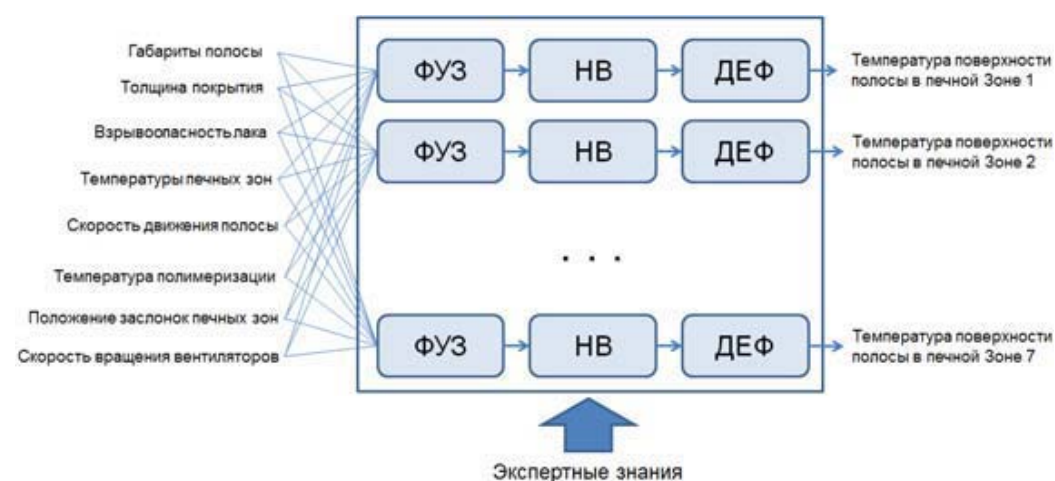


Рис. 1. Общая структурная схема нечеткой динамической модели грунтовочной печи агрегата полимерных покрытий

Полученная модель позволила рассчитать распределение температуры поверхности полосы по зонам печи на основании заданных значений следующих входных параметров: габариты полосы (ширина 1,490 м, толщина 0,9 мм), температура полимеризации (250 °С), скорость движения полосы (1,1 м/с), взрывоопасность лака – (180,5 (комплексный параметр, зависящий от температуры зажигания растворителя, нижнего предела взрывоопасности растворителя, минимальной теплоты сгорания растворителя, температуры кипения растворителя), толщина покрытия (0,02 мм), температуры печных зон (250, 300, 350, 375, 365, 370, 280 °С), скорости вращения вентиляторов зон нагрева (600, 800, 1000, 1000, 1000, 1000, 600 об/мин), процент открытия заслонок отвода отработанно воздуха (2 зона – 100 %, 7 зона – 100 %).

Распределение температуры по зонам печи, необходимое для закрепления лакокрасочного покрытия на поверхности металлической полосы показано на рис. 2.

предела прочности деталей и элементов конструкций с толщиной стенки не менее 6 мм в любом пространственном положении преобразователя. Установка ИМПУЛЬС-1Р для контроля комплекса физико-механических характеристик полимеров (резин, пластиков) позволяет определять твердость по Шору (в единицах IRHD), эластичность по отскоку, вязкость, модуль упругости и др. Разработаны также контактно-динамические приборы для измерения прочности бетонов и асфальтобетонов (рис. 9).



Рис. 9. Прибор для определения физико-механических свойств строительных материалов ИММ-1А

Метод динамического индентирования для контроля физико-механических свойств материалов и реализующая его аппаратура внедрены на ряде промышленных предприятий Беларуси и России. Впервые метод динамического индентирования предложен в качестве нового направления для изучения и контроля трещиностойкости неметаллических материалов.

Большое внимание уделяется вопросам энергосбережения, в том числе технической диагностике электроэнергетического оборудования (силовых трансформаторов, генераторов, электродвигателей и др.). В ИПФ НАН Беларуси выполнены исследования характера электромагнитных процессов в электрических машинах, изучено влияние дефектов изоляции на переходные процессы в обмотках, установлены закономерности неоднородного перемагничивания электротехнических сталей и магнитопроводов электрических машин. Разработан комплекс приборов для диагностики электрических машин: для бесконтактного контроля токов утечки высоковольтного оборудования (рис. 10, а); для диагностики силовых трансформаторов в условиях эксплуатации и ремонта (рис. 10, б); для диагностики параметров электрических машин постоянного тока; для наладки и диагностики установок фильтрации реактивной мощности электрических сетей и силового оборудования; для контроля витковых замыканий обмоток электрических машин (рис. 10, в); для измерения магнитных характеристик и электромагнитных потерь электротехнической стали, для измерения магнитных полей. Партии приборов переданы по договорам на предприятия и в службы Белорусской

железной дороги, на Минский электротехнический завод им. В.И.Козлова и др. В настоящее время завершаются работы по созданию магнитоизмерительной целолитовой установки для технологического контроля магнитных характеристик и электромагнитных потерь электротехнической стали.

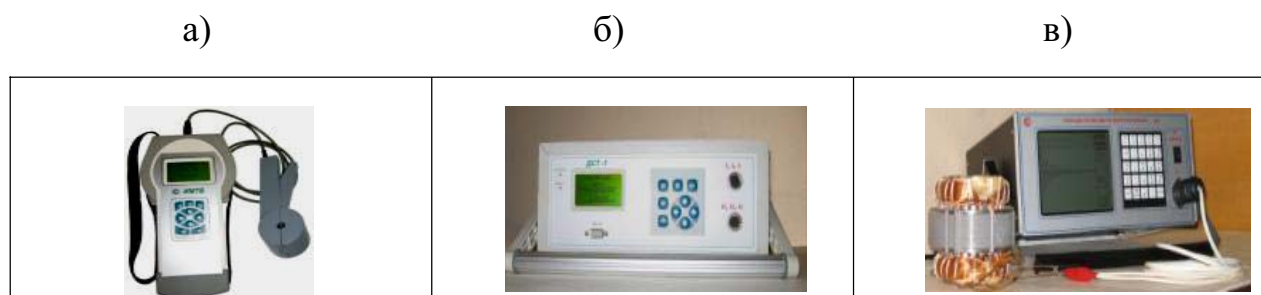


Рис. 10. Приборы для диагностики электроэнергетического оборудования ИМТБ (а); ДСТ (б) и ДО-1 (в)

Разработана теория и методология реконструкции динамических изображений внутренней структуры объектов в рентгеновской томографии, эффективные информационные технологии реконструкции изображений применительно к дефектометрии и дефектоскопии, основанные на решении некорректных задач, возникающих при ограничении угла обзора, недостаточной мощности источника излучения и при малом числе проекций. Эти разработки прошли успешную апробацию в рамках договора ИПФ НАН Беларуси с Минским тракторным заводом при дефектоскопии и размеромерии ответственных узлов и деталей. В частности, осуществлена трехмерная томографическая реконструкция и получены томограммы ряда бескорпусных игольчатых подшипников. Скорейшее доведение этих работ до широкого коммерческого использования, разработки соответствующей томографической аппаратуры, требует инвестиций заинтересованных предприятий машиностроительного комплекса. В ИНК ТПУ и ИПФ НАН Беларуси проводятся исследования с целью разработки нового метода прогнозирования остаточного ресурса ответственных деталей машиностроения с применением мониторинга структурной деградации металла неразрушающим микромагнитным методом, рентгенографии и других видов исследований, основанных на вероятностном подходе.

Все большее внимание уделяется разработке систем диагностики и мониторинга технического состояния потенциально опасных объектов промышленности, строительства, энергетики. В ИПФ НАН Беларуси разработаны принципы, математические алгоритмы, программное обеспечение, датчики, средства передачи, обработки и отображения многосенсорной информации для систем мониторинга технического состояния несущих строительных конструкций уникальных и высотных зданий и сооружений. Разработана и внедрена система мониторинга напряженно-деформированного состояния вантового кольца культурно-спортивного комплекса «Минск-Арена».

УДК 658.012

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ СИСТЕМА КОНТРОЛЯ ТЕМПЕРАТУРЫ ПОЛИМЕРИЗАЦИИ ГРУНТОВОЧНОГО СЛОЯ НА АГРЕГАТЕ ПОЛИМЕРНЫХ ПОКРЫТИЙ № 2 ОАО "СЕВЕРСТАЛЬ"

Е. В. ЕРШОВ, И. А. ВАРФОЛОМЕЕВ, О. А. ВИНОГРАДОВ
ФБГОУ ВПО «ЧЕРЕПОВЕЦКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
Череповец, Россия

Отечественный и зарубежный опыт в металлургии убеждает в том, что решение проблем контроля качества и конкурентоспособности металлопродукции на мировом рынке требует коренного совершенствования систем сбора, хранения, обработки, передачи и использования информации. Это позволяет продукции, выпускаемой на этих предприятиях, соответствовать самым строгим мировым стандартам.

Вместе с тем, металлургическое производство характеризуется наличием агрегатов, описание которых возможно только с использованием нечеткого моделирования в условиях неопределенности. Таким образом, большое значение приобретает необходимость разработки нечетких динамических моделей.

Применительно к металлургическому производству объектом со сложными связями и нестационарностью характеристик является агрегат полимерных покрытий, который используется для производства горячеоцинкованного проката с полимерным покрытием. Лакокрасочные материалы наносятся на холоднокатаные полосы толщиной от 0,4 до 1,2 мм и шириной от 900 до 1550 мм. В России прокат с полимерным покрытием выпускается по ГОСТ «Прокат тонколистовой холоднокатаный и холоднокатаный горячеоцинкованный с полимерным покрытием с непрерывных линий», а также по ТУ предприятий.

Агрегат полимерных покрытий имеет две печи: для сушки грунтовочного и отделочного слоев. Каждая из этих печей имеет по 7 печных зон. В каждой печи допускается лакирование двух сторон. При этом каждый лак может содержать максимально 10 растворителей.

С целью повышения качества конечной продукции, необходимо автоматизировать процесс нанесения лакокрасочного покрытия на металлическую полосу. Вследствие того, что агрегат полимерных покрытий имеет нелинейные, сложные связи между переменными, которые невозможно полностью изучить, он является объектом, для моделирования которого, необходимо использование метода «серого ящика».

Основной задачей управления грунтовочной печью агрегата полимерных покрытий № 2 ОАО "Северсталь" является контроль и поддержание температур всех семи зон, обеспечивающих на выходе из печи пиковую температуру полимеризации лакокрасочного покрытия. На данный момент при-

На рис. 2, б относительное вносимое сопротивление нормировано к максимальному значению. По оси абсцисс отложено нормированное к внутреннему диаметру ВТП радиальное положение частицы износа.

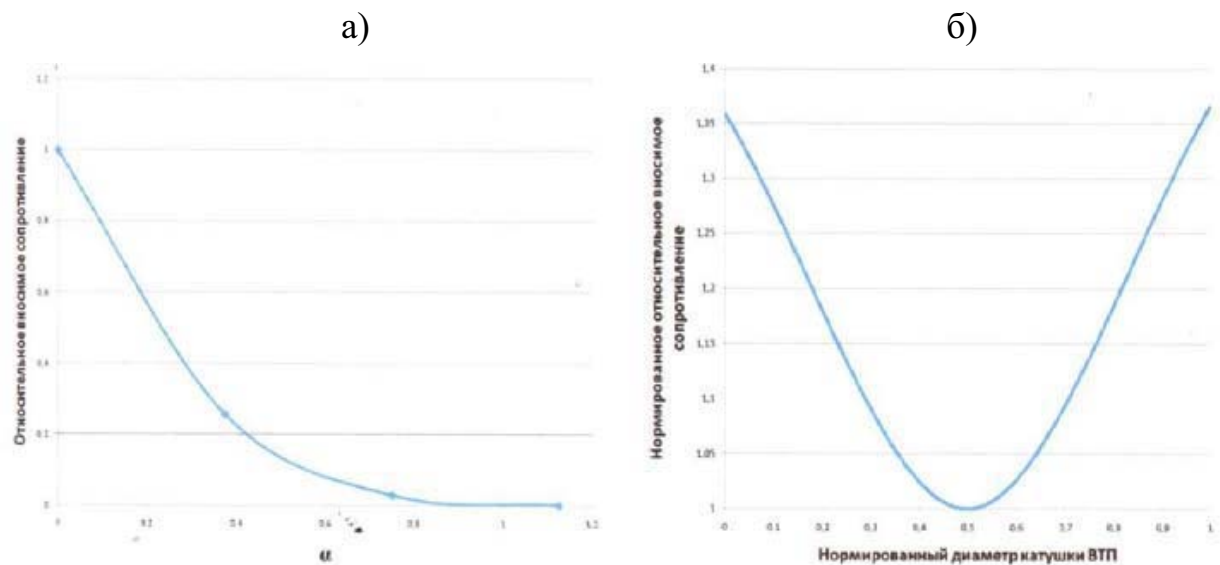


Рис. 2. Графики: а – зависимость модуля ОВС от аксиального смещения частиц по оси ВТП; б – зависимость модуля ОВС от радиального смещения частиц в плоскости ВТП

С точки зрения классификации частиц примесей по размеру, эффект возрастания вносимого сопротивления носит негативный характер, т. к. при одинаковом эффективном диаметре частицы износа, реакция ВТП на нее может изменяться до 35 %. Эффективным способом отстройки от влияния данного фактора является оптимизация конструкции датчика. Предложена конструкция, обеспечивающая изокINETический отбор пробы жидкости, при котором максимальная концентрация частиц в потоке жидкости достигается вблизи геометрической оси датчика.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Логвинов, Л. М.** Анализ и синтез преобразователей концентрации дисперсной фазы для систем управления и контроля технического состояния изделий авиационной техники: автореф. дис. ...д-р техн. наук: 05.13.05. – Самара: 1995.
2. **Герасимов, В. Г.** Неразрушающий контроль качества изделий электромагнитными методами / В. Г. Герасимов [и др.]. – М. : Энергия, 1978. – 216 с.
3. **Дорофеев, А. Л.** Электромагнитная дефектоскопия / А. Л. Дорофеев, Ю. Г. Казамапов. – М. : Машиностроение, 1980. – 232 с.

Система включает комплект из 32 разработанных датчиков деформаций с соответствующим программным обеспечением и позволяет осуществлять непрерывный мониторинг деформаций и напряжений в металлоконструкции в процессе эксплуатации комплекса "Минск-Арена", оповещать о появлении критических деформаций и напряжений, предотвращая возможные аварийные ситуации на объекте. В настоящее время разрабатываются и внедряются новые системы мониторинга технического состояния несущих конструкций высотных и большепролетных строительных сооружений (строящихся в Минске высотного здания «Парус» Бизнес-Центра, спортивного комплекса Фристайл-Центр и культурно-спортивного комплекса «Чижовка-Арена»).

Разработан ряд методик технического диагностирования и определения остаточного ресурса потенциально опасных промышленных объектов и технологического оборудования для предприятий нефтехимии (для ОАО «Гродно-Азот», ОАО «Мозырский нефтеперерабатывающий завод» и др.). Созданы и широко внедрены приборы для мониторинга состояния двустенных резервуаров для хранения нефтепродуктов на предмет появления течи.

Исследования продолжаются в направлении разработки научно обоснованных методик и технологий технической диагностики, мониторинга и прогнозирования остаточного ресурса потенциально опасных промышленных объектов на основе вероятностных оценок.

Вибродиагностика в качестве средства обслуживания машин и механизмов стала важнейшей составной частью общего мониторинга оборудования по фактическому состоянию. Измерительные системы диагностики, мониторинга и балансировки агрегатов используются в энергетике, добывающих и перерабатывающих отраслях, машиностроении и транспорте. Портативные виброанализаторы позволяют оперативно и регулярно получать информацию о состоянии напряжённых узлов механизмов путём анализа спектра вибраций и его изменения со временем. Стационарные комплексы осуществляют непрерывный виброконтроль, обеспечивая всей полнотой информации, измеряя виброускорение, виброскорость, вибро смещение, частоту вращения и т.д. Программное обеспечение даёт возможность прогнозирования состояния и продления ресурса объектов. В связи с этим следует подчеркнуть, что применение наноразмерных сверхвысокочувствительных мембран для виброакустических преобразователей позволит существенно повысить потребительские характеристики и эффективность виброконтроля.

Российская «Ассоциация ВАСТ» специализируется на вибрационной диагностике в качестве средства обслуживания машин и механизмов по фактическому состоянию. Измерительные системы диагностики, мониторинга и балансировки компании используются в энергетике, добывающих и перерабатывающих отраслях, машиностроении и транспорте. Специалисты компании разработали новые подходы в диагностике оборудования на основе организации службы вибродиагностики на предприятиях.



Рис. 11. Комплекс вибродиагностики и мониторинга технического состояния механических приводов

В Объединенном институте машиностроения НАН Беларуси разработаны и внедрены средства вибромониторинга (рис. 11) и методика разбраковки редукторов приводов ленточных конвейеров. Перспективы расширения внедрения полученных результатов связаны с созданием в ближайшее время программно-инструментальных средств и методологии вибромониторинга технического состояния и остаточного ресурса редукторов мотор-колес самосвала БелАЗ, технического состояния коробок передач МЗКТ.

На ряде предприятий Министерства энергетики РБ внедрена разработка Института технической акустики НАН Беларуси – автоматизированная система контроля утечек нефтепродуктов из резервуарных парков для сбора и обработки в автоматическом режиме информации о хранящихся, потребленных и отпущенных нефтепродуктах. Эта система обеспечивает автоматизированный учет нефтепродуктов, а также оперативный контроль режимов работы оборудования в резервуарных парках.

Последние разработки в области НК и ТД Белорусского национального технического университета – методика и пакет прикладных программ для оценки остаточного ресурса оборудования и металлоконструкций, основанные на определении комплекса механических свойств металла неразрушающими методами. Эти разработки успешно внедряются при обследовании технического состояния металла башенных кранов и резервуаров, при определении несущей способности строительных конструкций. Планируется расширение масштабов внедрения после адаптации разработки применительно к техногенным объектам.

Масштабные объекты, с которыми имеет дело промышленность (магистрали тепло- и электростанций, путепроводы, газо- и нефтепроводы, стены зданий и сооружений), неизбежно подвержены износу. Одна из важнейших проблем эксплуатации оборудования на предприятиях химической промышленности и ТЭК – ранняя диагностика и прогнозирование разрушений металлоконструкций, работающих в жестких термических и химических условиях. Существующие сегодня методы ранней диагностики способны регистрировать начало разрушений металлоконструкций только на таких стадиях, когда их эксплуатация уже потенциально опасна. Такая диагностика не по-

по каналу, проходящему через внутренний диаметр ВТП.

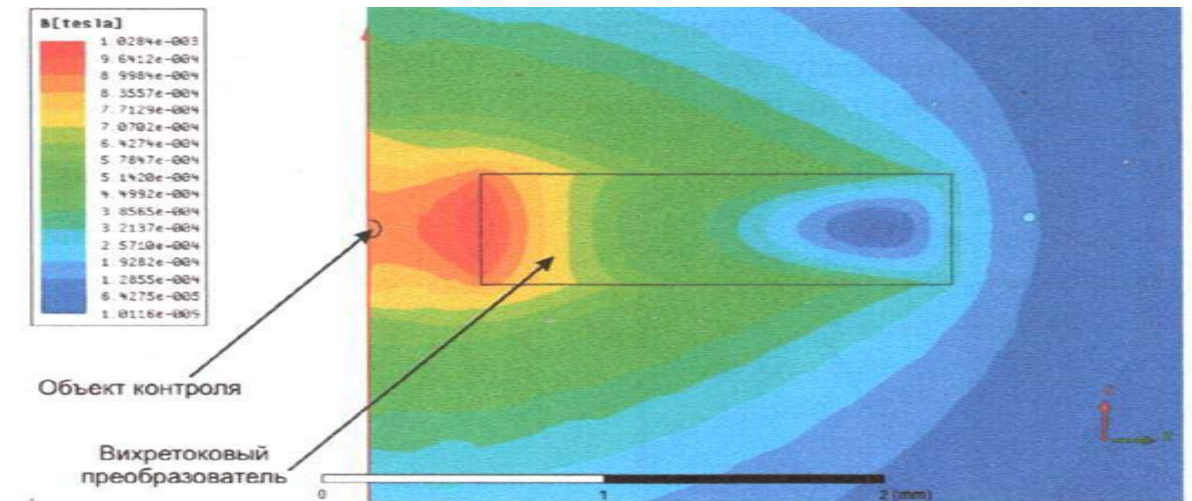


Рис. 1. Распределение индукции магнитного поля в модели ВТП

Анализ параметров ВТП проводился для случая, когда радиус объекта контроля – сферической частицы износа из немагнитного материала меньше внутреннего диаметра ВТП.

Для характеристики влияния осевого смещения частицы на вносимые в ВТП параметры вводится коэффициент α [1]:

$$\alpha = \frac{h+r}{R},$$

где h – расстояние от центра частицы износа до плоскости ВТП, мм; r – радиус частицы износа, мм; R – внутренний радиус ВТП, мм.

Изменение величины модуля относительного вносимого сопротивления, вследствие осевого смещения частицы, приведено на рис. 2, а.

Максимум вносимого сопротивления достигается при нахождении частицы в плоскости ВТП (см. рис. 1). С ростом α модуль вносимого сопротивления уменьшается и на расстоянии по оси, равном радиусу ВТП ($\alpha=1$) величина вносимого сопротивления становится меньше своего максимального значения в 10 и более раз.

Таким образом, зона контроля проходного ВТП, при измерении концентрации частиц износа в дисперсных средах, находится внутри самого ВТП и простирается в прилежащие области на расстояние, равное внутреннему радиусу ВТП.

Анализ радиального смещения частицы износа в плоскости ВТП показал, что смещение частицы износа к внутренней стенке ВТП с его оси, приводит к увеличению модуля относительного вносимого сопротивления (ОВС) в 1,35 раза на частоте 1 МГц (рис. 2, б). Это обусловлено ростом индукции магнитного поля вблизи проводящей стенки ВТП, что приводит к увеличению амплитуды возбуждаемых в частице износа вихревых токов. С ростом частоты влияние этого эффекта усиливается.

620.179.14

МОДЕЛИРОВАНИЕ ВИХРЕТОКОВОГО ДАТЧИКА
КОНТРОЛЯ ПАРАМЕТРОВ ДИСПЕРСНЫХ СРЕД

С. А. ГУДКОВ, И. А. КУДРЯВЦЕВ, *В. П. ЛУНИН, *В. В. ЧЕГОДАЕВ,
*А. Г. ЖДАНОВ

НИУ «САМАРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АЭРОКОСМИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ»

*«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ «МЭИ»
Самара, Москва, Россия

В настоящее время мониторинг параметров рабочих жидкостей разнообразных гидравлических систем и технологического оборудования является актуальной проблемой обеспечения надежности оборудования в условиях растущих требований к функциональным характеристикам. При эксплуатации жидкостных систем авиационной и космической техники проблема надежности является одной из определяющих, так как отказ может иметь катастрофические последствия [1].

Вихретоковый метод (ВТМ) контроля чистоты жидкостей является одним из перспективных, т.к. позволяет осуществлять многопараметрический контроль без контакта преобразователя и объекта, что позволяет получать хорошие результаты при высоких скоростях движения объектов. Основным достоинством ВТМ является возможность определять материал частицы (ферромагнитный или неферромагнитный) [2, 3].

В общем случае, решение задачи анализа параметров вихретокового преобразователя (ВТП) требует исследования вторичных электромагнитных полей локальных электропроводящих тел различных параметров и формы. Математически указанная проблема формулируется в виде краевых задач электродинамики, решаемых с той или иной степенью точности методами математической физики.

Основная сложность описания математической модели проходных ВТП с произвольно распределенными частицами в объеме датчика состоит в том, что она не обладает осевой симметрией и задача становится трехмерной. В этом случае не представляется возможным получить аналитическое решение задачи.

В связи с этим, для решения задачи исследования электромагнитных процессов в вихретоковом датчике был выбран путь компьютерного моделирования. Одним из наиболее эффективных вычислительных методов, который позволяет учитывать геометрические особенности задачи и макроскопические характеристики среды, является метод конечных элементов.

Модель ВТП, созданная в среде Ansoft Maxwell 14.0 приведена на рис. 1. ВТП представляет собой параметрический проходной вихретоковый преобразователь. Контролируемая жидкость с частицами износа протекает

звонит снизить эксплуатационные риски до безаварийного уровня.

Классические методы металлографии, основанные на обработке оптических изображений подготовленных участков поверхности конструкций, дают необходимую информацию о структуре материала, её изменениях, позволяя прогнозировать надёжность и остаточный ресурс всего объекта.

Развитие зондовых методов в направлении силового нанотестинга поверхности даёт возможность исследовать механические свойства тонких приповерхностных слоёв в нанобъёмах, атомные механизмы наноконтактной деформации при сухом трении, абразивном износе, механическом сплавлении и т.п. Атомно-силовая микроскопия (АСМ) предоставляет в этом направлении возможность упреждающего контроля оборудования и имеет существенные преимущества перед диагностическими средствами, использующимися в настоящее время, важнейшим из которых является следующее: по сравнению с оптической микроскопией, ультразвуковыми и рентгеновскими методами диагностики металлоконструкций АСМ позволяет регистрировать опасные изменения в структуре металла (изменение межзёренных границ, образование поверхностных дефектов, трещин и т.п.), когда их характерные размеры не превосходят десятков нанометров, что необходимо для оценки остаточного ресурса изделия задолго до наступления аварийно-опасной ситуации.

Новинкой является комплекс для диагностики состояния конструкционных материалов промышленного оборудования, разработанный NTI (входящей в группу компаний NT-MDT, г. Зеленоград, Россия). В основе комплекса – атомно-силовой микроскоп, позволяющий на ранних стадиях выявлять дефекты материалов с нанометровым разрешением. На фотографии показан комплекс СОЛВЕР ПАЙП (рис.12), который, по мнению разработчиков, позволяет перейти на практически безаварийный режим работы при использовании во время проведения регламентных испытаний и плановой замены оборудования.



Рис. 12. Труба нефтеперерабатывающей станции и ротор турбины

Отечественная разработка СОЛВЕР ПАЙП прошла «боевое крещение» на нефтеперерабатывающей станции Raffineria di Roma (Италия) и в настоящее время уже используется при диагностике сложных конструкций в России, Польше и Франции.

В ИПФ и ИТМО НАН Беларуси совместно с КБТМ-ИТЦ и УП «Белмикросистемы» завершаются работы с целью создания сканирующего микроволнового микроскопа для локального контроля электрофизических свойств полупроводниковых материалов интегральных микросхем, совмещающего функции как атомно-силовой, так и СВЧ-микроскопии (совместно с ИТМО НАН Беларуси, КБТМ-ИТЦ, УП «Белмикросистемы»).

Создание систем мониторинга сложных механических конструкций с определением их срока службы сдерживалось, в частности, отсутствием надёжных полифункциональных сенсоров. Применение единых технологических методов формирования сенсоров с использованием микроэлектромеханических систем (МЭМС) позволило разработать наноразмерные сегнетоэлектрические плёнки на металлических и диэлектрических подложках, обладающие рядом особенностей сегнетоэлектрических состояний и чрезвычайно высокой температурной стабильностью. Использование таких сенсоров позволяет создать тактильные матричные датчики динамической деформации. Чувствительность сенсоров на основе сегнетоэлектрических плёнок увеличивается на два порядка ($\Delta I/I \sim 10^{-9}$) по сравнению с существующими. Кроме того, они обладают долговременной стабильностью, им не требуются источники стабилизированного напряжения, т.к. это сенсоры генераторного типа. Использование двух линеек таких сенсоров, расположенных, например, в разных частях силовой переборки самолёта, позволит зафиксировать начало образования микротрещины и координаты её развития.

Рост использования композитных материалов в элементах конструкций определяет необходимость разработки новых систем контроля их целостности. Для обнаружения дефектов в современных композитных материалах предложены сети нанотрубок (нанопроводников), когда дефект будет обнаруживаться по изменению электропроводности сети. В этой связи перспективным направлением считается использование таких сетей для мониторинга состояния, как самолётов, так и космических аппаратов.

При диагностике важнейших узлов конструкций, особенно в авиастроении и при эксплуатации самолётов и вертолётов, широко используются магнитные и магнитопорошковые методы, сопровождаемые магнитными измерениями. В лаборатории магнитометрии ГОИ им. С.И. Вавилова разработаны квантовые сверхчувствительные магнитометры, способные работать в диапазоне полей от 15 000 до 100 000 нТ с точностью 0,1 нТ и ориентационными ошибками, не превосходящими 0,03 нТ.

Начало производства сверхбольших интегральных схем (СБИС) с топологией 90 нм, а в последующем 65 нм, рассчитанного на создание российских чипов для навигационных систем ГЛОНАСС/GPS, цифрового телеви-

ния. Структурная схема разрабатываемой системы приведена на рис. 1.

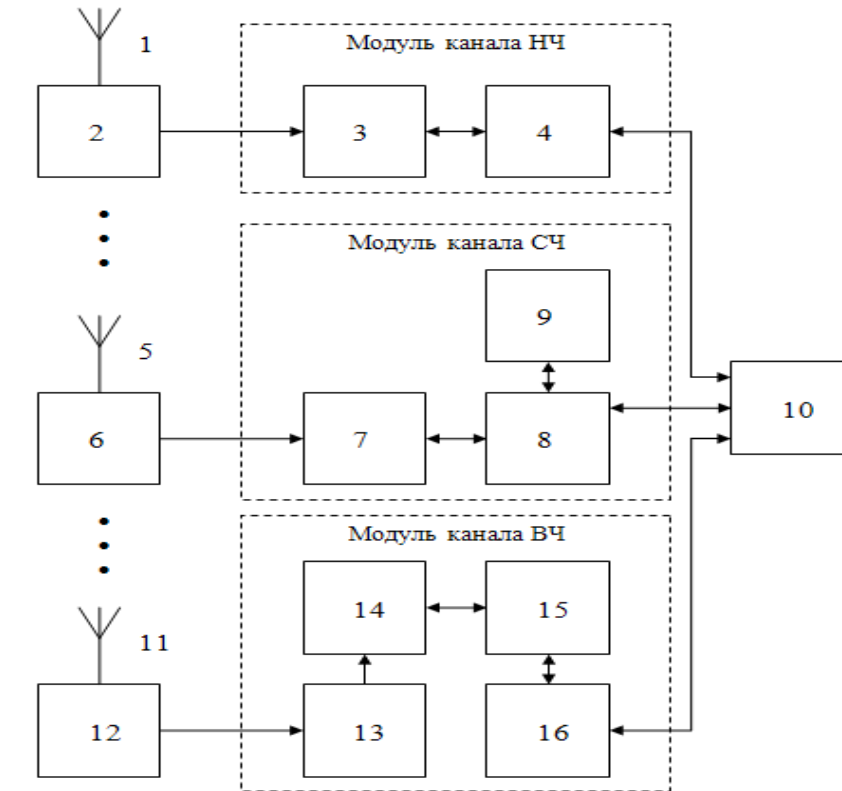


Рис. 1. Структурная схема системы интеллектуальных модулей для регистрации электромагнитных излучений плазменных потоков: 1 – антенна канала НЧ; 2 – модуль приема и кондиционирования сигнала канала НЧ; 3 – микроконтроллер; 4 – контроллер интерфейса RS-422 или USB; 5 – антенна канала СЧ; 6 – модуль приема и кондиционирования сигнала канала СЧ; 7 – двухканальный АЦП; 8 – специализированный контроллер с интерфейсом USB; 9 – EEPROM памяти программ; 10 – персональный компьютер; 11 – антенна канала ВЧ; 12 – модуль приема и кондиционирования сигнала канала ВЧ; 13 – АЦП; 14 – буферная память FIFO; 15 – контроллер; 16 – контроллер интерфейса USB или PCI

Модули приема и кондиционирования сигнала имеют общую архитектуру, но оптимизированы для работы в соответствующих диапазонах частот. Они предназначены для согласования с антеннами, фильтрации и усиления принимаемых сигналов до уровней, достаточных для работы модулей ввода-вывода. Предусмотрено подключение к ним антенн как электрического, так и магнитного типов. Модули имеют симметричные входы. Коэффициент усиления - переключаемый в диапазоне от 20 до 60 дБ.

Для регистрации, обработки и визуализации поступающей по всем каналам измерительной информации разрабатывается специализированное программное обеспечение для ПК.

Совместно со среднечастотным каналом, можно также использовать готовое, широко распространенное ПО, предназначенное для работы со звуком. Такие программные пакеты обладают широкой и мощной функциональностью и весьма комфортны для пользователя. Кроме того, информация, поступающая по этому каналу, может непосредственно вводиться и обрабатываться такими пакетами, как LabVIEW, MathCAD, MATLAB, Multisim.

УДК 621.317.2
ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ МОДУЛИ ЦИФРОВОЙ РЕГИСТРАЦИИ
ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ИЗЛУЧЕНИЙ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫХ
ПЛАЗМЕННЫХ ПОТОКОВ

С. А. ГРИШИН, В. В. КЛИМЕНТОВСКИЙ
ГНУ «ИНСТИТУТ ФИЗИКИ им. Б.И. Степанова НАН Беларуси»
Минск, Беларусь

Широкий спектр технологических процессов, таких как, сварка, резка, напыление и др., а также работа силовых установок (например, турбореактивных и ракетных двигателей) сопровождается возникновением высокотемпературных плазменных потоков. Характеристики таких потоков несут информацию о состоянии использующих их процессов и технических объектов. Регистрация, анализ и мониторинг этих характеристик позволяют осуществлять раннюю диагностику развивающихся неисправностей, контроль и регулирование машин и технологических процессов. При этом в качестве информационных параметров могут использоваться электромагнитные, оптические характеристики, тепловые поля плазменных потоков. Обычно для регистрации электрофизических параметров плазмы используются контактно-зондовые методы. Разработка бесконтактных дистанционных методов позволит значительно расширить область их применения. При регистрации электромагнитных полей плазменных потоков целесообразно использовать интеллектуальные модули, оптимизированные для работы в различных диапазонах частот.

Для работы на частотах менее 1 кГц разрабатывается модуль, на основе микроконтроллера из серии C8051Fxxx фирмы Cygnal. Такой модуль отличается компактностью и невысокой стоимостью, что также позволяет применять его при организации сенсорных сетей, а использование варианта связи с ПК по интерфейсу RS-422 дает возможность покрывать такими сетями значительные пространства. В варианте с интерфейсом USB возможно организовать питание модуля по шине, непосредственно от ПК.

Для регистрации электромагнитных полей в диапазоне частот от единиц герц до 22 кГц разрабатывается модуль, использующий возможности звуковой подсистемы ПК. Данный модуль предусматривает применение 16-разрядных или 24-разрядных АЦП, что позволяет получить очень широкий динамический диапазон – около 90 дБ или свыше 100 дБ соответственно. Эти ИС АЦП оптимизированы для работы с переменными сигналами с большим динамическим диапазоном и обладают высокой линейностью. А это минимизирует помехи и шумы, возникающие при преобразовании, в том числе и составляющие комбинационных частот, которые в случае сложных входных сигналов (а именно такими они обычно и оказываются), создают серьезные трудности при анализе регистрируемой информации. Основу модуля составляет специализированный контроллер с интерфейсом USB TAS1020B или TUSB3200 фирмы Texas Instruments.

В диапазоне частот до нескольких мегагерц предусмотрено использование модуля ввода-вывода информации в/из ПК промышленного изготовле-

дения, смарт-карт, радиочастотных идентификационных меток и т.п., потребовало разработки соответствующих средств контроля нанотехнологий и нанодиагностики продукции. Для этого в отделе нанодиагностики материалов и изделий микроэлектроники, входящем в структуру Наноцентра при Московском государственном техническом университете радиотехники, электроники и автоматики (рис. 13), оборудованы автоматизированные рабочие места, включающие средства оптической микроскопии, цифрового рентгеновского контроля и микротомографии, информационного и электрического тестирования микросхем с гибкой специализированной системой контактирования, электронно-микроскопического контроля, инфракрасного контроля, наноразмерного препарирования и зондового контроля.

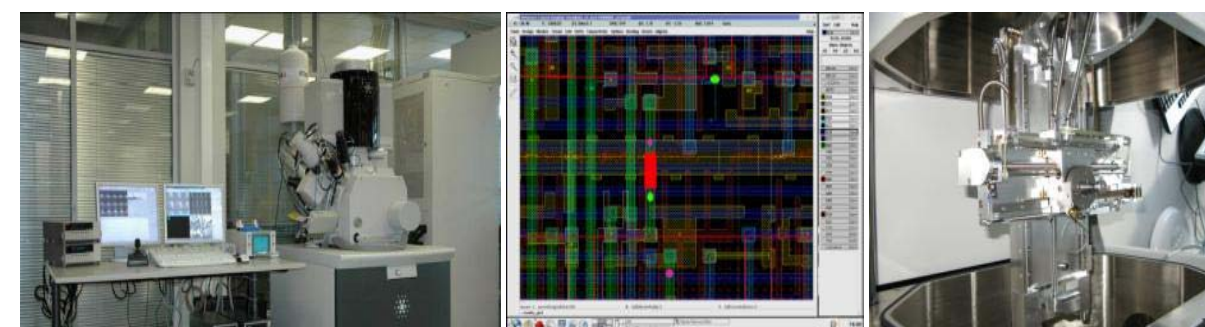


Рис. 13. Наноцентр МИРЭА

Качество технологий и продукции современной микроэлектроники достигается с помощью комплексного неразрушающего контроля и диагностики. Кроме того, проводится анализ отказов изделий микроэлектроники, локализация и исследование дефектов с помощью наноразмерного препарирования и остросфокусированного ионного пучка, коррекция топологии сверхбольших интегральных схем и формирование контрольных точек для анализа сигналов внутри СБИС. Таким образом, использование самых современных приборов и технологий даёт возможность оценить техническое состояние технологического оборудования и производимой электронной продукции.

В ИПФ и ИТМО НАН Беларуси совместно с КБТМ-ИТЦ и УП «Белмикросистемы» завершаются работы с целью создания сканирующего микроволнового микроскопа для локального контроля электрофизических свойств полупроводниковых материалов интегральных микросхем, совмещающего функции как атомно-силовой, так и СВЧ-микроскопии (совместно с ИТМО НАН Беларуси, КБТМ-ИТЦ, УП «Белмикросистемы»).

Применяемое рентгеновское оборудование отечественных разработок может быть адаптировано для различных задач контроля. Микрофокусные рентгеновские аппараты нашли широкое применение в электронной, аэрокосмической, атомной и автомобильной отраслях промышленности для контроля печатных плат, электронных компонентов, структуры композитов и решения других задач неразрушающего контроля. Мультифокусные рентге-

новские трубки имеют три режима работы: мощный – для распознавания элементов менее 3 мкм, микрофокусный – для выделения элементов менее 1 мкм и нанофокусный – для распознавания элементов менее 300 нм. Промышленные нанофокусные системы рентгеновского контроля позволяют выявлять субмикронные дефекты и отлично подходят для контроля полупроводниковых компонентов. Дополнительно системы могут быть оборудованы модулем аксиальной компьютерной томографии. Следует добавить, что повышать разрешение рентгеновской микроскопии можно почти до 0.1 нм (размер атома средних величин) и это связано с граничным размером длины волны рентгеновского излучения.

На основе современных технологий синтеза нанокристаллических материалов разработаны новые виды сцинтилляционных детекторов рентгеновского излучения с улучшенными техническими параметрами: энергетической эффективностью, быстродействием, пространственным разрешением, радиационной прочностью. Размер сцинтилляционных наночастиц может регулироваться параметрами синтеза в пределах 10–100 нм. Малые размеры наносцинтилляторов позволяют изготавливать из них рентгеновские детекторы с субмикронным пространственным разрешением. Детекторные матрицы, изготовленные из новых сцинтилляционных элементов, позволяют сократить время рентгеновского просвечивания и уменьшить получаемые объектом дозы облучения, а также значительно улучшить чувствительность и информативность инспекционной техники.

Таким образом, разработка и развитие средств НК и ТД нового поколения неразрывно связаны с достижениями нанотехнологий и создаваемых на их основе наносенсоров, нанодатчиков, нанопреобразователей, наноэлементов электронных узлов и систем наглядного отображения информации. Многие нанотехнологии и нанопреобразователи используют наноэффекты: размерные эффекты, туннельный эффект, эффекты сверхпроводимости и гигантского магнитосопротивления, эффекты квантовых точек и резкого изменения свойств композиционных наноструктур, эффекты материалов с отрицательным показателем преломления (метаматериалы) и т.д.

Значительное развитие при экспертизе промышленной безопасности получил метод акустической эмиссии. Этот метод применяют при обследовании сосудов высокого давления и трубопроводов, корпусов самолётов, объектов из металлов и композиционных материалов, куполообразных сооружений, наземных хранилищ, мостов, исследовании усталостных характеристик материалов и т.п. Системы комплексного диагностического мониторинга, в том числе новое семейство акустико-эмиссионной аппаратуры с имитаторами сигналов разработала российская компания ИНТЕРЮНИС, являющаяся одной из ведущих компаний в данном направлении. В частности, известна новая система «Лель /A-Line 32D (DDM)/», являющаяся многоканальной модульной системой сбора и обработки акустико-эмиссионной информации с последовательным высокоскоростным цифровым каналом пере-

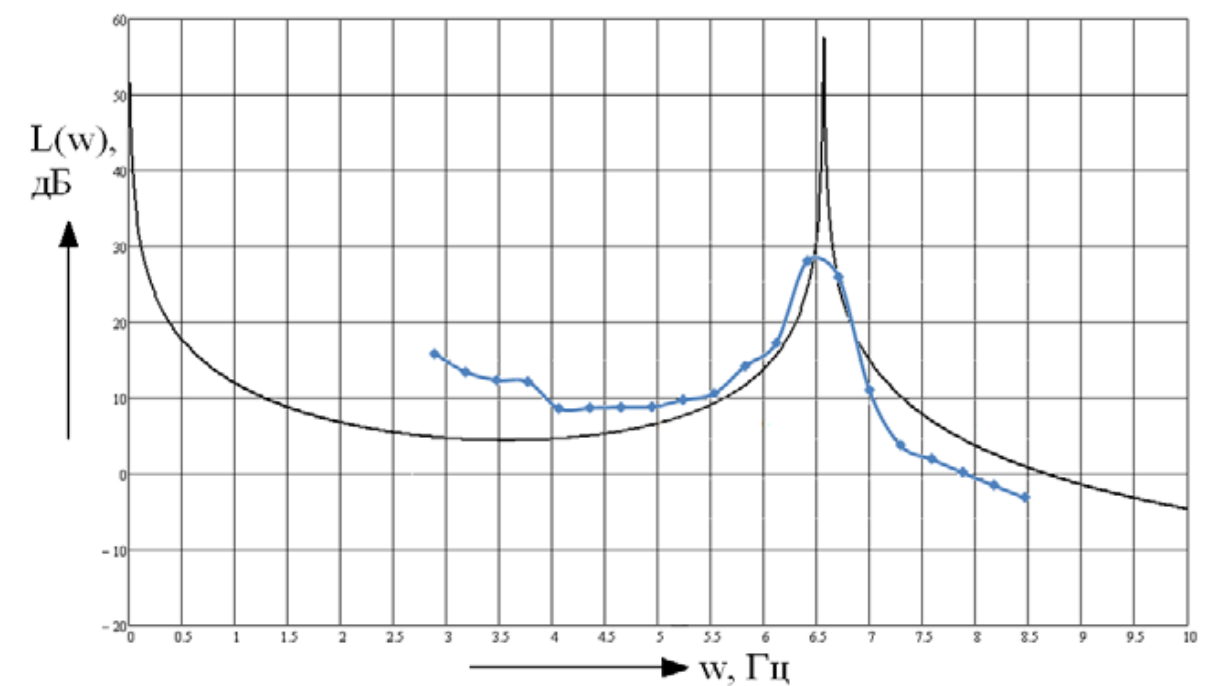


Рис. 1. Расчетная и экспериментальная логарифмические амплитудно-частотные характеристики исследуемого упругого элемента

Дальнейшие исследования будут направлены на повышение точности измерения амплитуды скорости колебаний, устранение или снижение влияния посторонних факторов, усовершенствование системы стабилизации частоты входного воздействия и проведения исследования элементов с большим числом резонансных частот в исследуемом диапазоне.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Вишнеревский, В. Т. К вопросу об использовании логарифмических амплитудно-частотных характеристик для исследования элементов с распределенными параметрами [Электронный ресурс] / В. Т. Вишнеревский // Студенческий вестник БРУ, Октябрь 2011. — Режим доступа: <http://www.bru.mogilev.by/science/vesnik/index.html>
2. Вишнеревский, В. Т. Аппроксимация передаточных функций звеньев электромеханических систем с распределенными параметрами / В. Т. Вишнеревский // Ползуновский вестник. – 2011. – №2/1. – С. 57-61.
3. Вишнеревский, В. Т. Создание лабораторного оборудования для проведения верификации математического описания элементов с распределенной упругостью / В. Т. Вишнеревский, Г. С. Ленеvский // Авиамашиностроение и транспорт Сибири : сб. статей II всерос. научн.-практ. конф., приуроченной ко дню космонавтики. – Иркутск, 11–13 апреля, 2012 г. – Иркутск : Изд-во ИрГТУ, 2012. – 312 с.

УДК 62-83
КОНТРОЛЬ ХАРАКТЕРИСТИК СИСТЕМ С РАСПРЕДЕЛЕННЫМИ
ПАРАМЕТРАМИ

В. Т. ВИШНЕРЕВСКИЙ, Г. С. ЛЕНЕВСКИЙ
ГУ ВПО «БЕЛОРУССКО-РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
Могилев, Беларусь

При синтезе систем автоматического управления электроприводами с упругими связями значительную роль играет использование частотных характеристик объектов управления [1]. Для получения наиболее адекватного математического описания часто приходится использовать математическое описание с учетом распределенности упругости и массы по пространственным координатам. Передаточные функции, в данном случае, являются трансцендентными [2]. В связи с данным обстоятельством, при верификации исследуемого математического описания приходится прибегать к сравнению частотных характеристик.

Верификация исследуемого математического описания является важным этапом исследования, поскольку только успешное ее проведение сможет предоставить основания для дальнейших исследований в области синтеза систем управления электроприводами с упругими связями.

В области управления электроприводами с упругими связями существует множество нерешенных вопросов, связанных с отсутствием возможности проведения исследований в частотной области на промышленных установках. Для использования при синтезе систем управления существующего математического описания, с учетом распределенности параметров, необходимо разработать методики расчетного определения резонансных и антирезонансных частот объекта управления, а также методику расчета скорости распространения волны упругой продольной деформации по длине распределенно-упругого элемента.

Экспериментальное получение частотных характеристик производится на лабораторной установке, предназначенной для исследования электромеханических систем с распределенными параметрами [3].

В данном случае исследуются передаточные функции линейного элемента с распределенной упругостью от усилия к скорости. Для построения требуемых характеристик фиксируется амплитуда скорости колебаний исследуемого элемента.

На рис. 1 для сравнения представлены расчетная и экспериментальная логарифмические амплитудно-частотные характеристики исследуемого упругого элемента.

дачи данных. Аппаратура разработана с использованием передовых технологий в области микроэлектроники и цифровой передачи данных. Уникальность системы подтверждена патентом RU 44390.

Рентгеновская диагностическая техника выпускаемая фирмой Флэшэлектроникс (рис. 14): сканер скрытых полостей "Ватсон" (односторонний доступ к объекту контроля и высокая производительность), переносные рентгенотелевизионные комплексы "Колибри 150 ТВ" и "Шмель 240 ТВ" используются на обеих сторонах Российско-Белорусской границы.



Рис. 14. Рентгеновский сканер скрытых полостей «Ватсон», переносные рентгенотелевизионные комплексы "Колибри 150 ТВ" и "Шмель 240 ТВ"

Институт неразрушающего контроля при ТПУ разработал уникальный пакет компьютерных программ для моделирования и обработки данных в тепловом контроле: программу ThermoCalc-6L для решения трёхмерной задачи теплового контроля многослойных тел при разнообразных граничных условиях и программу ThermoFit для обработки экспериментальных данных, включая тепловую томографию, Фурье-анализ, вейвлет-анализ, метод анализа главных компонент и дефектометрию, а ЗАО НИИИИ МНПО «СПЕКТР» предлагает новые тепловизионные приборы на неохлаждаемых матрицах (рис. 15).



Рис. 15. Тепловизоры

В наших странах ведется активная работа по гармонизации национальных стандартов с международными, в частности, по внедрению принятого этой весной ISO 9712:2012.

Наиболее интересные материалы по неразрушающему контролю и технической диагностике публикуются в российских периодических изданиях «Контроль. Диагностика», «Территория NDT», «Дефектоскопия», «В мире НК», а также белорусском журнале «Неразрушающий контроль и диагностика».

Следует особо отметить выпуск под эгидой Российского общества по НК и ТД серии книг «ДИАГНОСТИКА БЕЗОПАСНОСТИ». В состав серии вошли 20 книг по всем методам неразрушающего контроля и технической диагностики получившие гриф Учебно-методического объединения как учебные пособия для обучения студентов и подготовки специалистов по НК и ТД. Все книги серии рекомендованы научным советом РАН по диагностике и испытаниям в качестве базового материала для дистанционного обучения специалистов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Серия «Диагностика безопасности» / Под общей редакцией В.В. Клюева. – М. : Изд. дом «Спектр», 2011.

ния, реализованного на ЭВМ. Использование наблюдателей состояния для получения координат скорости подъемных установок имеет большое значение, поскольку проведенные ранее исследования показали, что наиболее оптимальным решением является осуществление обратной связи по скорости точки, находящейся на расстоянии 0,8 длины троса от приводного устройства [3].

С помощью имеющейся лабораторной установки для исследования электромеханических систем с распределенными параметрами посредством осциллографа снимаются графики скорости движения различных точек, лежащих на протяженности используемого упругого элемента. Одновременно измеряются значения тока, момента на валу и противо-ЭДС. По измеренным значениям, с помощью математической модели объекта управления, вычисляются значения скорости в требуемых точках. Затем измеренные значения сравниваются с рассчитанными и производится оценка точности воспроизведения наблюдателем состояния требуемой величины. При достаточной точности воспроизведения наблюдаемой величины можно будет судить о применимости наблюдателей состояния в системах с распределенными параметрами на практике. Данное нововведение сделает возможным синтез высококачественных замкнутых систем автоматического управления электроприводами шахтных грузоподъемных установок. Данные системы управления смогут повысить производительность и устранить опасные колебания при работе установок.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Толочко, О. І.** Анализ та синтез електромеханічних систем зі спостережачими стану: навчальний посібник для студентів вищих навчальних закладів / О. І. Толочко. – Донецьк : Норд-Пресс, 2004. – 298 с.
2. **Вишнеревский, В. Т.** Создание лабораторного оборудования для проведения верификации математического описания элементов с распределенной упругостью / В. Т. Вишнеревский, Г. С. Ленеvский // Авиамашиностроение и транспорт Сибири : сб. статей II всерос. науч.-практ. конф., приуроченной ко дню космонавтики. – Иркутск, 11–13 апреля, 2012 г. – Иркутск : Изд-во ИрГТУ, 2012. – 312 с.
3. **Овсянников, К. В.** Анализ и синтез системы управления электроприводом подъемной установки, обладающей распределенно-упругими свойствами / К. В. Овсянников, Г. С. Ленеvский, С. В. Кольцов // Вестн. Белорус.-Рос. ун-та – 2008. – №1 – С. 123–132.

УДК 62-83

КОМПЬЮТЕРНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В КОНТРОЛЕ КООРДИНАТ
ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ С УПРУГИМИ СВЯЗЯМИ

В. Т. ВИШНЕРЕВСКИЙ, Г. С. ЛЕНЕВСКИЙ
ГУ ВПО «БЕЛОРУССКО-РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
Могилев, Беларусь

Поиск и внедрение в практику новых, более совершенных способов синтеза систем автоматического управления электроприводами с упругими связями, в настоящее время, является одной из самых актуальных задач. В добывающей промышленности достаточно распространенными являются шахтные грузоподъемные установки. Глубина залегания пластов полезных ископаемых зачастую может достигать 1000 метров и более. При такой глубине подъема проявляются упругие свойства подвесных тросов, что становится причиной возникновения колебательных явлений в механической части подъемных установок. При высоте подъема более 1000 метров амплитуда колебаний сосудов с поднимаемым грузом может достигать 10 метров. Колебания недопустимой величины могут стать причиной возникновения серьезных неисправностей, а, в наиболее худшем случае, полного выхода промышленной установки из строя.

В области синтеза систем управления указанными установками остается множество нерешенных вопросов, в частности, важным является формирование переходных процессов при пуске установок. Наиболее целесообразным является решение данной проблемы за счет возможностей автоматизированного электропривода. Особенностью шахтных грузоподъемных установок является отсутствие возможности прямого измерения скорости сосудов с грузом. Поскольку мгновенное значение данной координаты необходимо для осуществления обратной связи, возникает необходимость в использовании наблюдателей состояния [1] для восстановления значения скорости, используя математическое описание объекта управления и значения таких координат, как ток, момент на валу двигателя и противо-ЭДС.

Целью проводимого исследования является поиск возможности использования в наблюдателях состояния существующего математического описания с учетом распределенности упругости и массы по длине подвесных тросов. Данное математическое описание позволяет учитывать все резонансные частоты объекта управления, которые оказывают влияние на динамику системы, и таким образом, восстанавливать значение требуемой координаты гораздо точнее, чем при использовании математических моделей с сосредоточенными параметрами. Для того, чтобы убедиться в возможности использования указанного математического описания, необходимо провести эксперимент на имеющейся лабораторной установке [2] с целью сравнения измеренного значения скорости с полученным при помощи наблюдателя состоя-

УДК 339.545 (075.8)

КОМПЛЕКСНЫЙ НЕРАЗРУШАЮЩИЙ КОНТРОЛЬ
ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ

И. В. ПАВЛОВ
НАЦИОНАЛЬНЫЙ МИНЕРАЛЬНО-СЫРЬЕВОЙ УНИВЕРСИТЕТ
«ГОРНЫЙ»
Санкт-Петербург, Россия

Автором рассматривается создание современного комплексного метода неразрушающего контроля бетона в конструкциях гидротехнических сооружений. Гидротехнические сооружения являются одними из крупнейших потребителей железобетона в мире. Вопросами надёжности и безопасностями их ученые занимаются третье столетие, однако, техногенные катастрофы происходят постоянно. Достаточно вспомнить катастрофу, произошедшую 17 августа 2009 года на одной из крупнейших гидроэлектростанций России – Саяно-Шушенской ГЭС, унесшую жизни 75 человек, последствия которой планируется устранить только в 2014 году, затратив на это несколько десятков миллиардов российских рублей.

И от таких катастроф никто не застрахован в будущем. Размеры плотин постоянно растут (высота плотины Саяно-Шушенской ГЭС составляет 245 метров), находящиеся в эксплуатации плотины постепенно разрушаются. В этих условиях постоянно совершенствующийся комплексный неразрушающий контроль является актуальной задачей. Основной его целью является повышение надежности и безопасности эксплуатации ГЭС за счет разработки и внедрения новых методов оценки качества элементов гидротехнических сооружений в процессе их изготовления и эксплуатации.

В работе рассматривается специфика создания и эксплуатации гидротехнических сооружений. Гидротехнические сооружения, в отличие от других общестроительных инженерных сооружений, работают в постоянном контакте с движущейся или находящейся в покое массой воды, которая оказывает на них различного рода физические воздействия.

Механическое воздействие воды проявляется в виде статистических и динамических нагрузок, в значительной степени определяющих форму и размеры сооружения. В зимний период возможно возникновение статических нагрузок вследствие термического расширения сплошного ледяного покрова или навалы ледяных полей под действием ветра и течений, нагрузок от плавающего льда при пропуске через гидроузел, а также нагрузок от примерзшего ледяного покрова при колебаниях уровня воды. Огромное разрушительное воздействие оказывает сезонное промерзание полостей дефектов заполненных водой: дефекты разрастаются, разрушается металлическая облицовка водоводов и водопропускных сооружений.

Поскольку водяные потоки несут с собой достаточное количество твердых взвесей (песок, камни), являющихся абразивами, поверхность гидротехнических сооружений подвержена истиранию.

Микроорганизмы, разнообразные водоросли и мхи, живущие в воде и на переувлажнённых элементах водопропускных сооружений, активно размножаются на прогреваемых солнцем участках и также способны отрицательно воздействовать на элементы гидротехнических сооружений.

Таким образом, природные и физические факторы, действующие на гидротехнические сооружения, достаточно многообразны, а создаваемые ими силы велики, принимая во внимание массу и протяженность объектов гидротехники.

Основным строительным материалом ответственных элементов гидротехнических сооружений является бетон. Бетон – это достаточно плотный, но хрупким материал. Его прочность при сжатии в несколько раз выше прочности при растяжении. Для восприятия растягивающих напряжений бетон определенным образом армируют стальными стрежнями (арматурой).

В силу условий эксплуатации бетоны гидротехнических сооружений, кроме механической прочности и предельной растяжимости, должны обладать некоторыми дополнительными свойствами, а именно: низкой влажностью или водонепроницаемостью, повышенной морозостойкостью, кавитационной стойкостью и трещиностойкостью.

С течением времени вымывание грунта оснований, сезонные изменения климата, допущенные при строительстве нарушения технологии производства работ, недостаточное качество исходных материалов и др., вызывают дефекты бетонных конструкций. Дефекты могут быть как поверхностными, так и скрытыми, но, в любом случае, они являются причинами деформаций, как отдельных частей, так и сооружения в целом.

Появление трещин, не герметичность швов или образование каверн в бетонных конструкциях способствует коррозии арматурной сетки и отслоению плит от грунтового основания, что приводит к техногенным катастрофам.

Для своевременного обнаружения дефектов конструкций гидротехнических сооружений и предотвращения аварий, в настоящее время, широко используют методы неразрушающего контроля, которые позволяют определить прочность конструкции и целостность ее элементов без их разрушения.

В работе подробно анализируются методы и средства неразрушающего контроля бетона и железобетонных конструкций гидротехнических сооружений. К основным из них относятся:

1) методы неразрушающего контроля бетона, основанные на распространении в них механических колебаний. Это, в первую очередь, давно применяющиеся ультразвуковые импульсные методы контроля [1], возможности которых значительно расширились с разработкой новых компьютеризированных приборов.

щее их усиление с помощью биполярных транзисторов в ключевом режиме работы.

Лицевая панель виртуального прибора системы управления содержит: регуляторы задания напряжения зарядки конденсаторных батарей U_c , времени паузы между циклами сварки t_p , времени предварительного сжатия $t_{пр\ сж}$ и проковки $t_{прок}$ (рис. 2). В процессе сварки осуществляется индикация их реальных значений. На лицевой панели отображаются значения сварочного тока $I_{св}$ и длительности его протекания $\tau_{имп}$ – основных параметров, характеризующих качество сварного соединения. При желании может осуществляться запись параметров режима сварки в память компьютера.

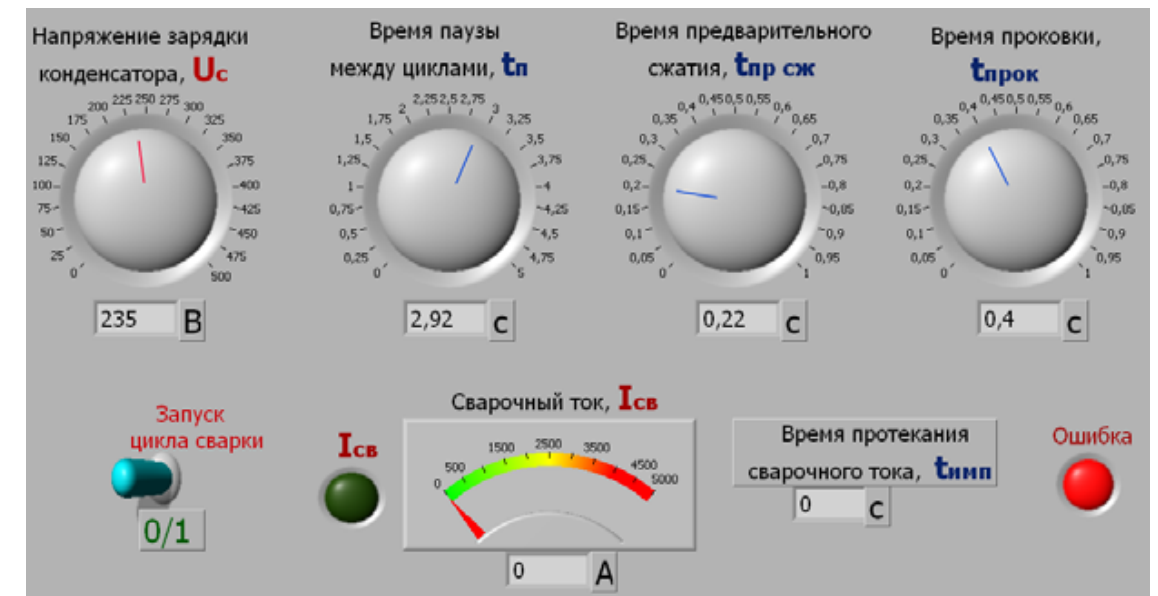


Рис. 2. Панель виртуального прибора системы управления

Разработанная система управления процессом сварки на конденсаторной машине МТК-1601 позволяет значительно повысить качество контактной микросварки за счёт программного управления и контроля параметров режима.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Оборудование для контактной сварки: справ. пособие / Под ред. В. В. Смирнова. – СПб. : Энергоатомиздат, 2000. – 847 с.
2. Евдокимов, Ю. К. LabVIEW для радиоинженера: от виртуальной модели до реального прибора. Практическое руководство для работы в программной среде LabVIEW / Ю. К. Евдокимов, В. Р. Линдваль, Г. И. Щербаков. – М. : ДМК Пресс, 2007. – 400 с.

Аппаратная часть системы управления состоит из устройства сбора данных NI USB-6251, разработанного устройства согласования сигналов, датчика тока ДТПХ-16000. Программная часть реализована в среде графического программирования LabVIEW [2].

Сварка обеспечивается по циклограмме, представленной на рис.1. Усилие сжатия электродов $F_{сж}$ обеспечивается управлением двумя пневмоклапанами машины (Кл.1 и Кл.2). Заряд батареи конденсаторов до напряжения U_c производится посредством подачи импульсов частотой 700 Гц на зарядный тиристор. Формирование импульсов управления осуществляется встроенным в устройство согласования сигналов генератором. При достижении заданного значения U_c , контролируемого устройством сбора данных NI USB-6251 через делитель напряжения, осуществляется включение шунтирующего тиристора. Протекание импульса сварочного тока обеспечивается подачей сигнала на разрядный тиристор. Контроль значения сварочного тока $I_{св}$ и длительности его протекания $\tau_{имп}$ осуществляется устройством сбора данных через канал аналогового ввода от датчика тока ДТПХ-16000, работа которого основана на эффекте Холла.

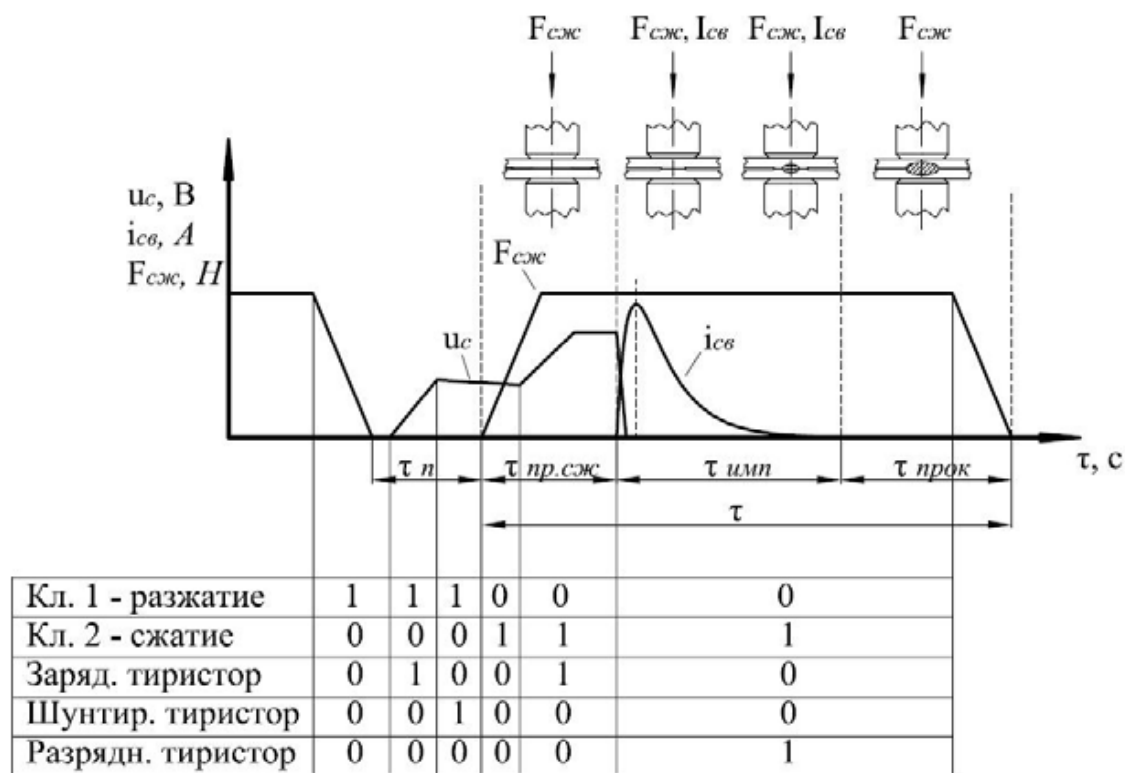


Рис. 1. Циклограмма процесса сварки на конденсаторной машине

Сигналы управления пневмоклапанами и тиристорами задаются программно в соответствии с алгоритмом работы машины и через цифровые выходы NI USB-6251 поступают на устройство согласование, осуществляю-

С их помощью проводят исследования бетонных конструкции до 5000 мм толщиной. Скорость распространения механических импульсов с малыми амплитудами зависит от микроструктуры бетона, его прочности и однородности. Результаты ультразвуковых исследований (УЗИ) позволяют сформировать представления о несущей способности конструкций и их дефектном состоянии [1];

2) методы неразрушающего контроля, основанные на механических испытаниях. К которым относятся давно применяющиеся методики, использующие чисто механические приборы типа «молотка Кашкарова», склерометра Шмидта и новые методики, основанные на использовании электронных ударно-импульсных приборов типа «Оникс 2.5», «Оникс 2.6», выпускаемых НПП «Интерприбор». Приборы внесены в Госреестры СИ Российской Федерации и Республики Беларусь;

3) методы неразрушающего контроля, основанные на использовании свойств радиационного излучения. В последнее время эти методы получают всё большее распространение в связи с разработкой малогабаритных импульсных рентгеновских приборов с широкими возможностями при пониженных требованиях к обеспечению безопасности.

4) методы неразрушающего контроля на основе свойств инфракрасного излучения и реализуемые с помощью разнообразных пирометров и тепловизоров [2];

5) методы неразрушающего контроля посредством измерения удельного электрического сопротивления бетона. По измерению удельного электрического сопротивления поверхностного слоя бетона этим способом, например, можно контролировать проницаемость бетона без разрушения его сплошности.

Наибольшее внимание в работе уделяется возможностям и результатам тепловизионного обследования железобетонных конструкций гидротехнических сооружений, как наиболее перспективным и широко внедряемым в настоящее время.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Неразрушающие методы испытания бетона / Под ред. О. В. Лужина. – Совм. изд. СССР – ГДР. – М. : Стройиздат, 1985. – 236 с.

2. Штенгель, В. Г. Тепловизионное обследование плит крепления откосов грунтовых гидротехнических сооружений / В. Г. Штенгель, В. С. Недялков // Инженерно-строительный журнал. – 2011. – № 7.

В. Л. ВЕНГРИНОВИЧ
«ИНСТИТУТ ПРИКЛАДНОЙ ФИЗИКИ НАН Беларуси»
Минск, Беларусь

Дальнейшее развитие науки и технологий требует создания средств самозащиты и предупреждения разрушений, аварий и катастроф, угрожающих как развитию общества, так и самой цивилизации. Понятие системной безопасности пронизывает все аспекты человеческого существования и человеческой деятельности. Безопасные системы – это в идеале такие системы, функционирование которых не приводит к возникновению аварий и катастроф и, которые продолжают функционировать даже при выходе из строя одного или нескольких элементов. Создание систем мониторинга (СМ) опасных объектов конструкций и сооружений преследует цель снижения рисков функциональных отказов, аварий и катастрофических ситуаций при строительстве и эксплуатации объекта.

Быстро расширяющееся применение систем технического мониторинга для оценки текущего состояния, надежности и ресурса потенциально опасных объектов: высотных и уникальных зданий, магистральных трубопроводов, мостов, объектов химии и нефтехимии, предполагает решение целого ряда технических задач, в том числе, фундаментальных. Одна из них сводится к задаче оценки технического состояния и ресурса по данным многосенсорных измерений, включая измерения текущих параметров различных внешних воздействий. Учитывая значительные материальные затраты на создание разветвленных СТМ, по существу, речь идет о решении задачи повышения достоверности прогноза при минимальном составе сенсорного набора, размещенного оптимальным образом, причем, датчики которого обладают конечными погрешностями в условиях меняющихся температурных и других воздействий. Очевидно, что задача является некорректной обратной (прямая задача предполагает оценку показаний датчиков в результате тех или иных изменений состояния отдельных элементов конструкции).

Будем считать *надежность* показателем качественного состояния конструкции и ее элементов. Количественной мерой надежности может служить вероятность P функционального отказа элемента или конструкции за время T , или иным образом: *надежность* – есть время T_1 , за которое с заданной вероятностью P_1 элемент или конструкция не выйдет из строя. Надежность элемента понижается при наличии в нем повреждений или дефектов. Нештатные воздействия, например, импульсные, могут также снижать показатели надежности.

Надежность может быть определена с некоторой неопределенностью. Байесовская статистика является базисом для количественного представления неопределенности через случайные переменные, которые вводятся с по-

С. В. БОЛОТОВ, И. В. КУРЛОВИЧ, Е. Л. БАНСЮКОВА
ГУ ВПО «БЕЛОРУССКО-РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
Могилев, Беларусь

Микросварка на конденсаторных машинах широко применяется при изготовлении изделий радиоэлектроники, тонколистовых изделий из легких металлов и сплавов в авиационной, радиотехнической и машиностроительной отраслях промышленности, при ремонте металлических тканей (сеток) в химической и целлюлозно-бумажной промышленности.

Влияние ряда дестабилизирующих факторов в процессе контактной сварки, даже при постоянных исходных параметрах режима, может привести к появлению дефектных соединений с выплеском или непроваром. Поэтому вопросы совершенствования технологии сварки и контроля качества соединений, непосредственно в процессе их образования являются весьма актуальными, требующими своего решения.

Промышленно выпускается разнообразное оборудование для контактной микросварки, в том числе и с программным управлением [1]. Однако в эксплуатации на различных предприятиях и организациях находится большое количество машин конденсаторного типа, которые при модернизации системы управления, ничем не уступают современным конденсаторным машинам.

Авторами реализована система программного управления процессом контактной сварки на конденсаторной машине МТК-1601. Силовая часть машины не подвергалась изменениям. Она содержит батарею из 20 металлобумажных конденсаторов МБГВ (160 мкФ, 500 В). Заряд батареи осуществляется от мостового неуправляемого выпрямителя через зарядный тиристор. Выпрямитель подключается к силовому повышающему трансформатору. Для шунтирования зарядного выпрямителя, при достижении напряжения на конденсаторах батареи заданного уровня, предусмотрен шунтирующий тиристор. Разряд батареи на первичную обмотку сварочного трансформатора осуществляется через разрядный тиристор.

В машине МТК-1601 применён пневматический привод с двумя поршнями – рабочим и вспомогательным. Первый служит для создания усилия сжатия электродов, второй – для регулирования рабочего хода и обеспечения дополнительного хода электрода.

Аппаратура управления машины, реализованная на базе устаревшей "Логике-Т", заменена на программно-аппаратные средства компании National Instruments.

жет быть довольно легко встроен в существующие приложения, путём добавления нескольких html-тегов в разметке приложения.

Мобильное приложение содержит в себе функционал веб-приложения и расширяет его рядом сигнальных преобразований, защищенных от копирования на основе функционала соответствующих провайдеров мобильных платформ.

Слой логики содержит стандартный для веб-приложений модуль аутентификации, модуль веб-сервисов, для интеграции с мобильными приложениями и сигнальным визуализатором, модуль описания объектов и их характеристик.

Слой данных содержит базу данных, содержащих данные о пользователях системы, характеристиках обследуемых объектов, а так же ссылки на файлы вибросигнальных выборок.

Существует несколько каркасов, позволяющих разрабатывать единое приложение с использованием технологий PhoneGap [2], Titanium [3], но основным минусом подобных приложений является ограниченность доступных аппаратных функций, что существенно для приложений, осуществляющих сбор и обработку сигнальных данных, требующих тесной интеграций с аппаратными функциями мобильных устройств. В качестве решения указанной проблемы может быть предложена архитектура, когда код приложения будет разделён на логику, представление и функционал, обращающийся к системным функциям, причем логика приложения не должна иметь зависимостей от той или иной платформы. В таком виде логика приложения может быть перенесена существующими средствами на другие языки, базовые для конкретной мобильной платформы. При этом, представление может быть реализовано на основе браузерной компоненты HTML5, доступной во всех мобильных платформах. С помощью технологии CSS, одна и та же браузерная разметка может выглядеть по-разному, в зависимости от выбранной мобильной платформы, в соответствии с требованиями к пользовательскому интерфейсу конкретной платформы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Kessin, Z.** Programming HTML5 Applications, Building Powerful Cross-Platform Environments in JavaScript / Z. Kessin. – Sebastopol USA, Published by O'Reilly Media Inc., 2011. – 142 p.
2. **Lunny, A.** Phone Gap Beginner's Guide / A. Lunny. – Birmingham UK, Published by Packt Publishing Ltd., 2011. – 328 p.
3. **Pollentine, B.** Appcelerator Titanium Smartphone App Development Cookbook / B. Pollentine. - Birmingham UK, Published by Packt Publishing Ltd., 2011. – 308 p.

E-mail: baz-val@yandex.ru
branc@bsuir.edu.by

мощью функций плотности вероятности и соответствующих параметров. Повреждения системы, вызванные повреждением составляющих, назовем *прямыми последствиями*. Они не приводят к потере функциональности системы. Комбинация событий, состоящих в повреждении объекта, вызывает *косвенные последствия*, которые могут приводить к потере функциональности системы, в том числе, к ее обрушению. *Косвенные последствия* играют основную роль в оценке рисков системы в целом и их моделированию должна придаваться особая роль. Введем три основных характеристики поведения наблюдаемой системы, а именно: *воздействие, уязвимость, робастность*.

Повреждения объекта в связи с повреждениями составляющих элементов рассматриваются как *прямые последствия*. *Уязвимость* объекта ассоциируется с оценкой рисков, вызванных именно *прямыми последствиями*.

Множественные или катастрофические единичные воздействия, ведущие к повреждению элементов и вызывающие потерю функциональности, например устойчивости объекта, рассматриваются как *косвенные последствия*, играющие основную роль в оценке рисков, моделировании поведения и в оценке *робастности*. Очевидно, что интегрирование множественных *воздействий* наиболее проблематично.

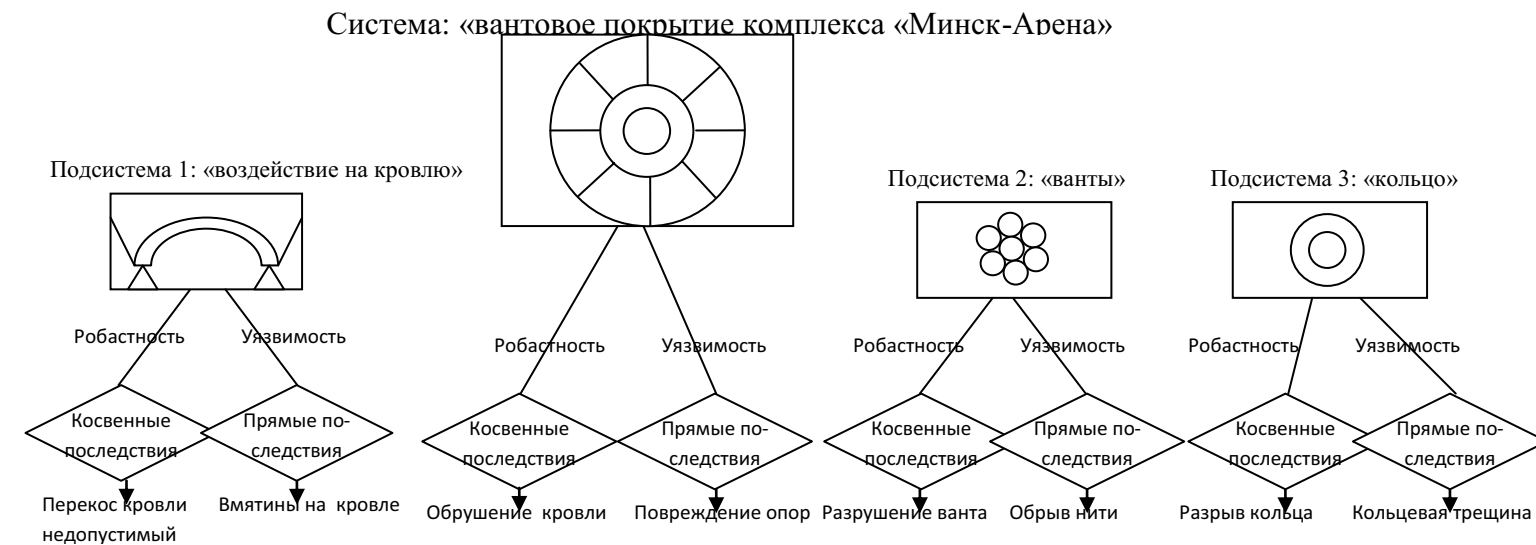


Рис. 1. Характеристика базовой системы «Вантовое покрытие комплекса «Минск-Арена» и инфраструктура подсистем объекта в терминах: *воздействие, уязвимость, робастность*

На рис.1 показана для примера характеристика базовой системы «Вантовое покрытие комплекса «Минск-Арена» и инфраструктура подсистем объекта в терминах: *воздействие, уязвимость, робастность*. Вантовое покрытие представляет собой набор вантовых тросов, которые натянуты между стеновыми опорами (наружные крепления) и несущим кольцом (внутренние крепления).

Риск R_e , ассоциированный с одним конкретным воздействием e , можно оценить с помощью произведения вероятности возникновения этого воздействия, p_e , и последствий c_e , вызванных этим событием:

$$R_e = p_e c_e \quad (1)$$

В предлагаемом подходе риск и его последствия оцениваются в некотором стоимостном эквиваленте, например, монетарной стоимости элементов, числе человеческих потерь, результатах воздействий на окружающую технологическую среду, или стоимости экологических последствий.

Если за время T (например, один год) возможно возникновение нескольких независимых событий $N(T)$, каждое с вероятностью $p_{n(T)}$ и соответствующими последствиями c_n , то суммарный риск соответственно возрастет:

$$R_e = \sum_{n=0}^N p_{n(T)} c_n \quad (2)$$

Если $N[n(T)]$ – ожидаемое число событий определенного типа в течение времени T , то суммарный риск является интегрированным риском:

$$R_e = \sum_{n=0}^{\infty} P_{n(T)} c_n n. \quad (3)$$

Один из самых значительных по последствиям рисков является риск частичного или полного обрушения конструкции, характеризующийся лавинным нарастанием последствий каждого события, связанного со сменой состояний системы. Необходимо отметить, что риски могут быть представлены в различных формах, например, в виде функций распределения последствий, показывающих с какими вероятностями различные стадии последствий могут возникать.

Очевидно, что управление рисками разрушения конструкции предполагает их минимизацию. Минимизация рисков может осуществляться различными способами. Наиболее простой состоит в обеспечении необходимого запаса критических параметров, таких как прочность, сопротивление коррозии, устойчивость и др. за счет увеличения металлоемкости конструкции, сечений железобетонных элементов и т.п. Этот наиболее популярный, но наименее эффективный, по существу экстенсивный путь до сих пор наиболее широко применяется в проектировании сооружений и машин. Машинное проектирование позволило значительно сузить область применения этой концепции, однако научно разработанные критерии, основанные на количественном анализе рисков, до сих пор отсутствуют, по крайней мере, на стадии эксплуатации конструкции и в процессе ее строительства. В то же время системы непрерывного мониторинга, как сложные дорогостоящие информационные системы, не могут создаваться, с одной стороны, без их оптимизации, и, с другой, без обоснованных критериев принятия решений по данным

В приложении можно выделить три независимых роли: пользователь, аналитик и сервис сбора вибросигналов. Пользователь имеет возможность загружать вибросигналы, производить их локальный анализ и запрашивать производство анализа экспертом. Роль эксперта предполагает расширение роли пользователя с добавлением возможности просмотра и поиска прецедентов, подобных исследуемой ситуации, в базе прецедентов, построенной на основе снятых ранее выборок вибросигнальных данных. Роль сервиса сбора вибросигналов автоматическая и предполагает постоянный сбор виброданных со специализированных объектов для дальнейшего их анализа и построения базы прецедентов.

Компонентная диаграмма приложения показана на рис. 2.

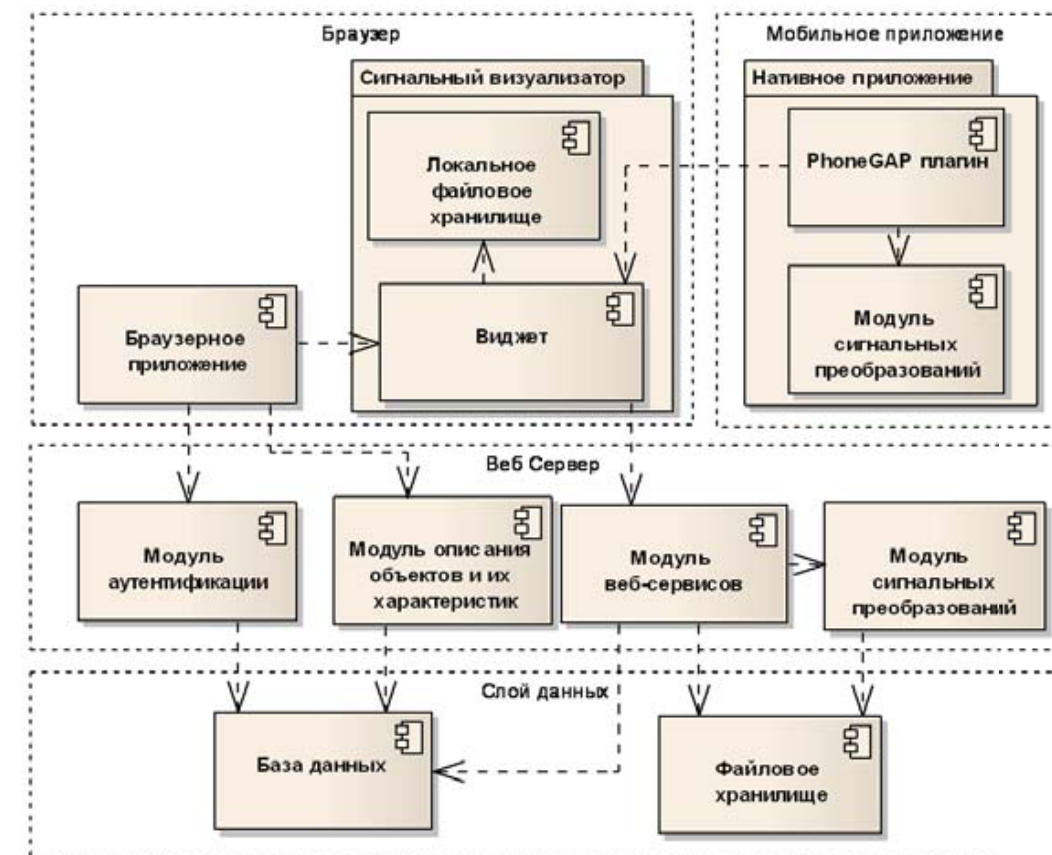


Рис. 2. Компонентная диаграмма веб-приложения для обработки сигнальных данных

Приложение можно разделить на три слоя: слой представления, слой логики, слой хранения данных. Слой представления, в свою очередь, можно разделить на веб-приложение и мобильное приложение.

Наиболее существенной частью слоя представления является сигнальный визуализатор, состоящий из локального хранилища вибросигнальных файлов и компоненты визуализации вибросигналов. Такой визуализатор мо-

ОРГАНИЗАЦИЯ НАСТОЛЬНЫХ И МОБИЛЬНЫХ
ИНТЕРНЕТ-РЕСУРСОВ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ
ВИБРАЦИОННОЙ ДИАГНОСТИКИ

В. Э. БАЗАРЕВСКИЙ, П. Ю. БРАНЦЕВИЧ, Е. П. ЦХОВРЕБОВ
УО «БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИНФОРМАТИКИ И РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ»
Минск, Беларусь

Расширение пропускной способности каналов передачи данных и развитие технологий браузерной визуализации позволяет создавать интерактивные приложения по обработке и отображению сложной графической информации. В качестве задачи, подлежащей решению в рамках подобных приложений, может рассматриваться задача визуализации вибросигналов, а их спектров, каскадов спектров, вейвлетов, а также других результатов преобразований в рамках браузерного HTML5 [1] приложения. Такое приложение может использоваться для просмотра, анализа и сбора данных пользователями, не являющимися экспертами, с целью выявления дефектов обследуемых механизмов на основе ряда, заранее сконфигурированных, преобразований, а так же при экспресс-анализе состояния этих механизмов экспертами в условиях, когда отсутствует возможность использования специализированных, но при этом значительно более тяжелых приложений для анализа вибросигнальных данных.

На рис.1 показана диаграмма способов использования подобного приложения.

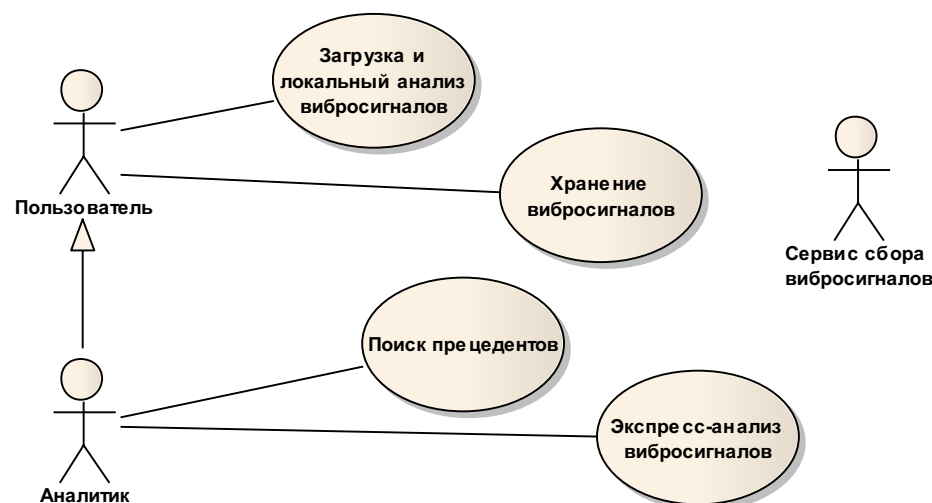


Рис. 1. Диаграмма способов использования веб-приложения обработки сигнальных данных

многосенсорных измерений. В табл. 1 показаны основные научные проблемы, лежащие в основе создания эффективных СМ, и возможные подходы к их решению, принятые в настоящей работе.

Табл. 1. Основные научные проблемы

№	Научные проблемы	Возможные подходы к решению
1	Оптимизация номенклатуры, количества и мест установки датчиков непрерывного наблюдения.	Анализ и минимизация рисков прямых и косвенных последствий при критических <i>воздействиях</i> , снижение <i>уязвимости</i> и повышение <i>робастности</i> конструкции.
2	Метрологическое, инфраструктурное и программное обеспечение функционирования датчиков и средств передачи информации.	Физические принципы построения датчиков, метрология и алгоритмы их функционирования.
3	Оптимизация принятия решений по данным многосенсорной информации.	Анализ многосенсорной информации и минимизация рисков прямых и косвенных последствий при критических <i>воздействиях</i> .
4	Оценка начальных значений измеряемых параметров.	Разработка методов и средств инструментального измерения, контролируемых СМ.

Требует специального пояснения п. 4 табл. 1, касающийся оценки начальных значений измеряемых параметров. Поскольку большинство датчиков (например, датчики деформаций, перемещений или инклинометры) измеряют приращения этих параметров, а не их абсолютные значения, знание начального состояния становится весьма актуальным. Задача определения начальных значений для установки их в измерительную систему относится к категории задач неразрушающего или слабо повреждающего контроля и в настоящем докладе не рассматривается. Научная проблематика задач по п. 1 и п. 3, как видно, тесно взаимосвязана. В основе лежит анализ и минимизация рисков прямых и косвенных *последствий* при *воздействиях*, которые можно считать критическими.

Выражения для расчета состояний повреждения по данным измерения датчиками соответствующих параметров записываются в виде решения обратной задачи минимизации:

$$\hat{n}_v = \arg \min \left\{ \sum_{\mu=1}^{I_m} [r_{\mu}^m - \hat{r}_{\mu}^c]^2 + \lambda_1 \sum_{v=1}^{I_v} \hat{n}_v \ln(\hat{n}_v) : n(x_1) \in U^{f_1} \right\} \quad (4)$$

где r_{μ}^m – измеренные датчиками текущие значения параметров элементов объекта; \hat{r}_{μ}^c – рассчитанные с помощью выбранной физической модели значения параметров элементов.

Формулы типа (4) дают ключ к вычислению опасных состояний элементов конструкций по данным многосенсорных измерений датчиками СМ, установленными на конструкции. Эти состояния должны быть заданы в пространствах соответственно U^{f_1} , U^{f_2} и U^{f_3} , например, в пространстве величин *надежности* набора элементов конструкции. Для этого *надежность* должна быть математически определена. В настоящей работе предлагается определить *надежность* как интеграл вероятности величины, например, отклонения измеренного параметра при известном диапазоне $\{a, b\}$ допустимых отклонений данного параметра, заданных нормативным документами.

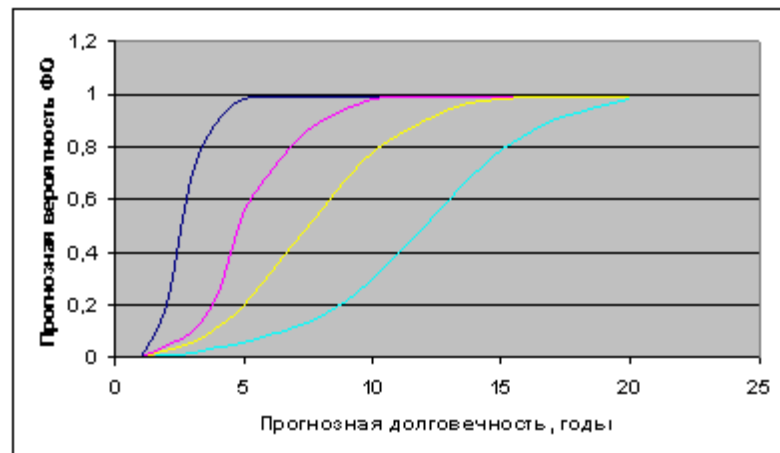


Рис. 2. Кривые, характеризующие прогнозируемую вероятность в зависимости от количества сенсоров в СМ

Достоверность прогноза состояния зависит от количества датчиков в системе. Ясно, что увеличивать это число бесконечно невозможно. Отсюда – важность задачи оптимизации по формуле (4). На рис 3 показана схема решения задачи оптимизации обнаружения риска по данным многосенсорного наблюдения за объектом.

Показатель надежности с учетом допущенных дефектов K_d является количественной вероятностной характеристикой допустимости отклонений измеренных при диагностировании параметров объекта, в частности, толщины и твердости металла, для которых нормативами установлены предельные значения. К таким параметрам объекта могут быть также отнесены размер зерна, отклонения геодезических и геометрических параметров и другие, выраженные количественно.

Показатель K_d – есть вероятность безотказной работы, P_d объекта по данному параметру. По смыслу она характеризует вероятность того, что по результатам представительной выборки измеренных значений этого параметра можно утверждать, что в объекте в целом значения данного параметра не выйдут за нормативные предельные значения: нижнего a и верхнего b , или одного из них.

Если для величины дефекта устанавливается диапазон $\{a, b\}$, то

В [3] показано, что доля k полной энергии рассматриваемого сигнала, заключенная в полосе рассматриваемых частот $k > 90\%$. Огибающая при периодизации анализируемых радиоимпульсов образует последовательность прямоугольных импульсов. Сигнал при таком режиме работы представляет собой манипулированное колебание [4].

Сравнительные исследования видов манипуляции высокочастотных сигналов показали, что максимальная достоверность контроля обеспечивается при фазовой манипуляции с $\Delta\varphi = \pi$. При этом вся энергия сигнала содержится только в боковых полосах, а составляющая на несущей частоте отсутствует (рис. 2).

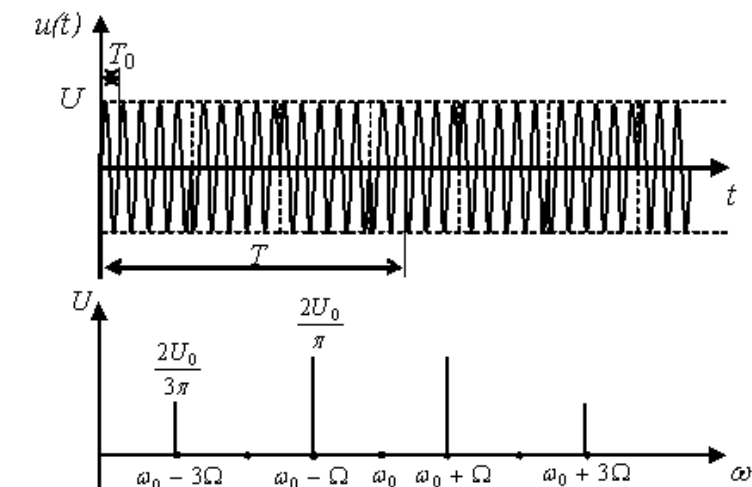


Рис. 2. Временная и спектральная характеристики фазоманипулированного сигнала ($\Delta\varphi = \pi$)

На интервале, где колебания синфазны, суммарная амплитуда удваивается, а где фазы противоположны, компенсируется. Двукратное превышение амплитуд спектральных составляющих фазоманипулированного сигнала над составляющими спектра амплитудно-манипулированного сигнала и возможность минимизации составляющей на несущей частоте позволяет увеличить достоверность контроля.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Зонтов, А. В. Системы электроснабжения летательных аппаратов / А. В. Зонтов. – М. : ВВИА им. проф. Н. Е. Жуковского, 1986. – 420 с.
2. Гемке, Р. Г. Неисправности электрических машин / Р. Г. Гемке. – Л. : Энергия, 1969. – 272 с.
3. Самойло, К. А. Радиотехнические цепи и сигналы: учеб. пособие для вузов / К. А. Самойло, Д. В. Васильев [и др.]. – М. : Радио и связь, 1982. – 528 с.
4. Гоноровский, И. С. Радиотехнические цепи и сигналы / И. С. Гоноровский. – М. : Дрофа, 2006. – 719 с.

ких параметров высокочастотного колебания. При этом не обязательно сохранять полностью структуру колебания, достаточно лишь сохранить закон изменения того параметра, в котором заключена информация. Значения определенных гармонических составляющих импульсного напряжения в контролируемой обмотке будут зависеть только от ее параметров. Условием выбора оптимальной формы испытательного напряжения является необходимость сосредоточения основной энергии его спектра в диапазоне резонансных частот контролируемой обмотки. В результате анализа форм спектров различных сигналов установлено, что наилучшим образом удовлетворяют предъявленным требованиям напряжения в виде отрезков синусоиды, имеющей n периодов $u(t) = \sin(\omega_0 t)$, где n определяется по значению $\Delta\omega$ (чем меньше n , тем больше значение $\Delta\omega$).

Такую форму напряжения можно трактовать как синусоидальное колебание, модулированное прямоугольной функцией. При этом начальная фаза несущего колебания совпадает с фронтом огибающей. Спектральная плотность подобного радиосигнала $\dot{G}_p(\omega)$ (рис. 1) получается путем сдвига спектральной плотности $\dot{G}(\omega)$ прямоугольной огибающей по оси частот на ω_0 вправо и влево с уменьшением ординат в два раза [3]:

$$\dot{G}_p(\omega) = \frac{U}{(\omega - \omega_0)} \sin\left[\frac{(\omega - \omega_0)\tau_u}{2}\right] + \frac{U}{(\omega + \omega_0)} \sin\left[\frac{(\omega + \omega_0)\tau_u}{2}\right] \quad (1)$$

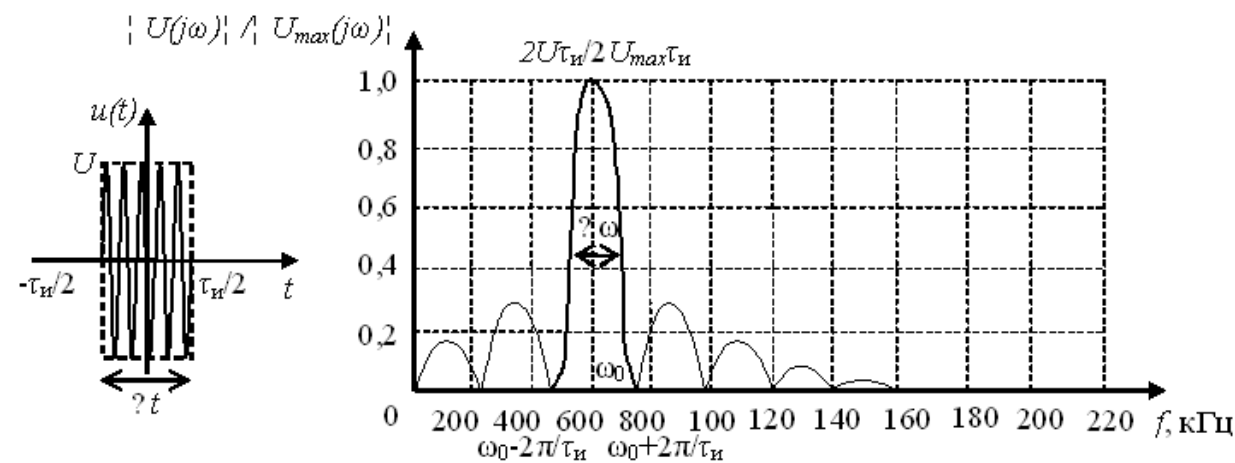


Рис. 1. Форма и амплитудный спектр напряжения в виде отрезка синусоиды соответствующего резонансной частоте обмотки якоря авиационного генератора ГСР-СТ-12/40Д: а – форма; б – амплитудный спектр

Активную ширину спектра прямоугольного импульса длительностью τ_u можно представить как полосу частот $\Delta\omega$ между значениями частот, при которых спектральная плотность первый раз обращается в ноль.

$$K_d = P_d = \Phi\left(\frac{\bar{x} - a}{\sigma_k}\right) + \Phi\left(\frac{b - \bar{x}}{\sigma_k}\right), \quad (5)$$

где $\Phi(U)$ – интеграл вероятности (определяется по таблицам). Формула 5 дает значения вероятности того, что указанный параметр во всем объекте находится в диапазоне $\{a, b\}$; \bar{x} – математическое ожидание величины данного параметра по результатам оцениваемой выборки; σ_k – стандартное отклонение величины измеряемого параметра.

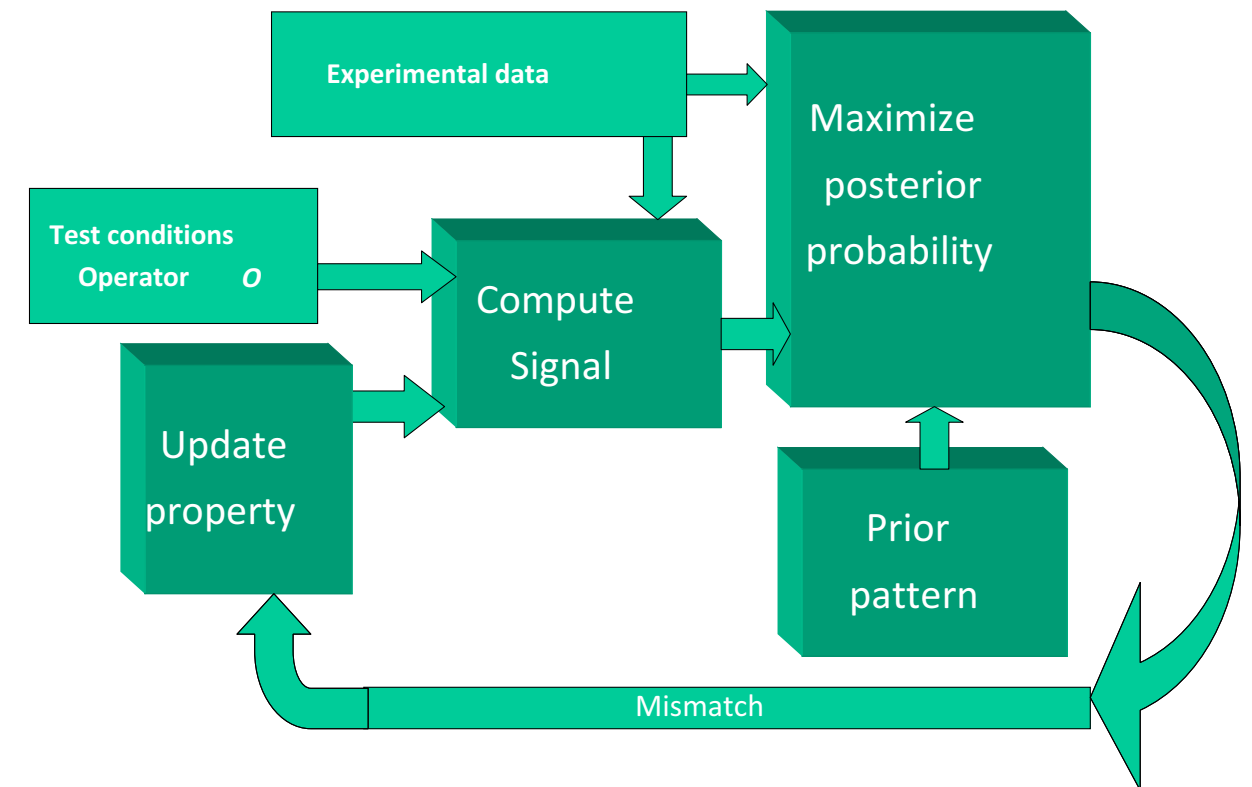


Рис. 3. Схема вычисления риска разрушения по данным многосенсорных измерений

Выводы.

1. В статистической Байесовской постановке исследована проблема оценки рисков опасных состояний конструкций, подвергаемых мониторингу. Ключевыми понятиями в теории являются воздействие, уязвимость и робастность системы
2. Предложена общая теория количественного анализа рисков повреждения, полного и частичного разрушения элементов и конструкций в целом.
3. Рассмотрена проблема минимизации рисков на стадиях проектирования объекта и функционирования системы мониторинга
4. Разработана системы мониторинга для ряда уникальных объектов в Республике Беларусь.

УДК 378 (082)
ОСОБЕННОСТИ ДВУХУРОВНЕВОЙ ПОДГОТОВКИ СПЕЦИАЛИСТОВ В
ОБЛАСТИ НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ И ДИАГНОСТИКИ

С. С. СЕРГЕЕВ
ГУ ВПО «БЕЛОРУССКО-РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
Могилев, Беларусь

В нашем университете осуществляется подготовка специалистов в области неразрушающего контроля и диагностики по образовательным программам Республики Беларусь и Российской Федерации. В докладе рассмотрены проблемы и вопросы сопоставимости этих программ, а также концептуальные и методические особенности их параллельной реализации.

Отличительными чертами современного этапа модернизации высшего образования в Республике Беларусь являются: сохранение качества высшего образования, необходимого национальной экономике; учет экономической целесообразности при установлении продолжительности, содержания, объемов и интенсивности обучения; постепенный переход к массовому высшему образованию, которое в перспективе смогут получить все желающие из числа успешно завершивших обучение в средней школе; открытость белорусской высшей школы для зарубежных партнеров, повышение ее престижа, конкурентоспособности и привлекательности на мировом рынке образовательных услуг.

В настоящее время, в числе первоочередных рассматривается вопрос о структуре высшего образования с тем, чтобы перейти к системе, нацеленной на обеспечение массовой подготовки специалистов, а также научных кадров через механизм магистратуры. При этом болонская схема, предусматривающая укороченную до трех-четырех лет первую ступень, признана не соответствующей национальным потребностям страны, в связи с недостаточным профессиональным уровнем выпускников. По той же причине академическая степень бакалавра рассматривается как целесообразная лишь в перспективе и, только в отдельных случаях, с целью подготовки кадров для зарубежных стран или для специальностей без глубокого академического содержания.

Подобный подход позволит изменить существующую в ряде вузов тенденцию искусственного завышения продолжительности обучения по ряду образовательных программ. Студенты изучают значительное число курсов и их разделов общеразвивающего характера, которые могут быть изучены самостоятельно по мере возникновения в них действительной необходимости, а также второстепенных дисциплин, слабо связанных с будущей профессиональной деятельностью. Содержание образования отличается и чрезмерным объемом дисциплин социально-гуманитарного цикла, излагаемых в виде изолированных от остального содержания модулей. Переработаны образова-

УДК 629.7
ПРИМЕНЕНИЕ ФАЗО-МАНИПУЛИРОВАННЫХ СИГНАЛОВ
ПРИ ТЕСТОВОМ ДИАГНОСТИРОВАНИИ ОБМОТОК АВИАЦИОННЫХ
ГЕНЕРАТОРОВ ПОСТОЯННОГО ТОКА

А. А. ШЕЙНИКОВ, Ю. В. СУХОДОЛОВ
УО «ВОЕННАЯ АКАДЕМИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ»
Минск, Беларусь

Авиационные коллекторные генераторы постоянного тока (ГПТ) всех типов (ГСР, ГСР-СТ, СТГ) аналогичны по конструкции. Для них является характерной высокая удельная мощность. Так, например, генератор ГСР-18000 (мощность генератора 18 кВт) весит примерно столько же, сколько генератор общепромышленного назначения мощностью 2,5 кВт. Высокая удельная мощность ГПТ достигается в результате применения большой частоты вращения, высококачественных электромагнитных материалов и эффективных способов охлаждения. Так, например, плотность токов в обмотках якоря достигает 20 А/мм^2 , а под щетками $25\text{--}30 \text{ А/см}^2$, в то время как у общепромышленных машин эти величины составляют, соответственно, не более 7 А/мм^2 и 15 А/см^2 . Повышенная температура обмотки (до $185 \text{ }^\circ\text{C}$) и высокие плотности тока, несмотря на применение специальных электротехнических материалов, сокращают срок службы ГПТ до 3000 ч, в то время как срок службы генераторов общего назначения составляет десятки лет. Обмотка якоря ГПТ выполняется простой петлевой. Известно, что до 30 % преждевременных отказов ГПТ происходит из-за повреждений их обмоток [1], вызываемых механическими воздействиями, имеющими электромагнитную природу, а также тепловыми, климатическими и электрическими нагрузками [2]. Ситуация усложняется отсутствием эффективных методик автоматизированного контроля обмоток ГПТ, обладающих приемлемой для эксплуатации достоверностью.

Для определения дефектов изоляции используются такие методы, как измерение сопротивления изоляции, измерение интенсивности частичных разрядов, измерение емкости относительно корпуса, определение значения тангенса угла диэлектрических потерь, испытание повышенным напряжением, испытание импульсным напряжением. Анализ существующих способов контроля изоляции показал их невысокую достоверность, а также не учет индивидуальных и конструктивных особенностей ГПТ. Решение этой задачи возможно при диагностике обмоток с помощью анализа затухающих колебаний. Однако недостатком этого способа является необходимость подавления неинформативных спектральных составляющих и искажений, вызванных нестабильностью параметров испытательного сигнала. Повысить чувствительность контроля можно за счет использования специфических свойств радиосигналов. Здесь полезная информация заключена в одном из несколь-

На коническую оправку устанавливают переходные втулки соответствующего типоразмера. Затем на втулку помещают диагностируемый подшипник, после чего на экране измерительного модуля выбирается номер диагностируемого подшипника.

В память измерительного модуля предварительно заложены данные по радиальной и осевой испытательной нагрузке, частоте вращения, критериальные значения контролируемых параметров, необходимые для аттестации данного подшипника. Исходя из этих параметров, оператор настраивает стенд входного контроля подшипников и производит контроль подшипника.

Подшипник зажимают между коническими оправками для самоцентрирования. Прикладывают через рычаг осевую нагрузку и осуществляют комплексное нагружение подшипника. Момент трения измеряется плоской пружиной с помощью наклеенных на ней тензодатчиков. Посредством закреплённых на нижней конической втулке пьезопреобразователя и датчика вибраций, контролируют виброакустические параметры. Величину контактного сопротивления между внешним и внутренним кольцами подшипника, между которыми находится смазочный материал, определяют по падению напряжения с использованием 4-проводной схемы.

Сигналы с датчиков нормируются, выполняется аналогово-цифровое преобразование, параметры которой поступают в ЭВМ. На основании сравнения с нормативными данными делается вывод о степени пригодности подшипника для использования его в тех или иных целях.

В программном обеспечении стенда реализуются методы акустической эмиссии (анализ активности), вибродиагностики (оценка уровней вибрации; анализ спектра огибающей сигнала виброускорения), электрорезистивные (контактное сопротивление), триботехнические (момент трения, температура).

Система содержит базу данных о свойствах отечественных и зарубежных подшипников с возможностью дальнейшего пополнения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Анурьев, В. И.** Справочник конструктора – машиностроителя: в 2 т. / В. И. Анурьев. – М. : Машиностроение, 2001. – Т.2. – 912 с.
2. **Барков, А. В.** Диагностирование и прогнозирование состояния подшипников качения по сигналу вибрации / А. В. Барков // Судостроение № 3. – 1985. – С. 21–23.
3. **Маркова, Л. В.** Трибодиагностика машин / Л. В. Маркова, Н. К. Мышкин. – Минск : Бел. Наука, 2005. – 251 с.
4. **Свириденко, А. И.** Акустические и электрические методы в триботехнике / А. И. Свириденко [и др.]; под ред. В. А. Белого. – Минск : Наука и техника, 1987. – 280 с.
5. **Баранов, В. М.** Акустическая эмиссия при трении / В. М. Баранов [и др.]. – М. : Энергоатомиздат, 1998. – 256 с.

E-mail: olhol@belsut.gomel.by

тельные стандарты для специальностей, ведущих к относительно простым или двойным квалификациям, не предполагающим глубокой академической подготовки или утратившим ее вследствие размытия целей обучения. Существенным резервом для сокращения продолжительности обучения является хорошо организованная и обеспеченная методически самостоятельная работа студентов, результаты которой контролируются преподавателем, а объем учитывается учебным планом.

Вторая ступень высшего образования в виде магистратуры призвана решить проблему обеспечения научными кадрами высшей квалификации, в первую очередь, отрасли высшего образования и науки. В этой связи учебный процесс в магистратуре построен на изучении методов организации и управления научной деятельностью, педагогики и психологии высшей школы, а также на курсах, необходимых для подготовки к сдаче экзаменов и зачетов кандидатского минимума и имеет продолжительность один год. Выпускникам магистратуры присуждается академическая степень магистра, которая является обязательной при поступлении в аспирантуру. Структура специальностей магистратуры укрупнено соответствует номенклатуре научных работников, принятой ВАК, что нацеливает магистрантов на результативную научную деятельность конкретного профиля.

При подготовке специалистов в области неразрушающего контроля в нашем вузе учебный процесс строится на методической базе, основанной на принципе системности и деятельном подходе. При этом деятельный подход позволяет дать четкие ответы на вопросы форм и необходимости обучения, т.е. учить надо для того, чтобы человек мог выполнять вполне определенную деятельность; учить надо тому, что необходимо для успешного выполнения этой деятельности. На основе деятельного подхода перед студентами формируется конкретный набор задач, с которыми он может встретиться и которые он должен уметь успешно решать. При этом имеются две категории наборов задач – промежуточные и итоговые. Промежуточные требования при изучении отдельных дисциплин. Итоговые выражают требования к умениям выпускника к моменту завершения обучения и носят комплексный обобщающий междисциплинарный характер. Уровень подготовленности выпускников к профессиональной деятельности проверяется в процессе государственного экзамена по специальности.

Серьезное внимание в учебном процессе уделяется развитию творческих способностей будущих инженеров. Достижение этой цели обеспечивается соответствующей технологией обучения. Поэтому переход к решению субъективно творческих задач должен осуществляться постепенно, по мере повышения образовательного потенциала студентов. На старших курсах введена дисциплина «Учебно-исследовательская работа студентов», в рамках которой студенты осваивают элементы научных исследований: постановка задачи, анализ, синтез, теоретическое моделирование, планирование эксперимента. Программы лабораторных работ предусматривают постанов-

ку задачи и самостоятельное проведение экспериментов с обработкой результатов.

Важное место в овладении навыками применения теории занимают курсовые проекты и работы. Требования к объему и содержанию проектирования должны вытекать из реального фонда времени, отведенного в учебном плане. Для повышения творческой направленности проектирования существует два пути: выдача комплексных проектов и работ на группу студентов (2-4 чел.); объединение курсового проектирования по нескольким дисциплинам и увязка его с тематикой НИРС. Такие сквозные работы являются хорошей базой для дипломного проектирования и обеспечивают выполнение законченной разработки.

В дипломных проектах наших выпускников рассматриваются практически все виды неразрушающего контроля: ультразвуковой механизированный и автоматизированный контроль; радиационные и электромагнитные методы контроля материалов и сварных соединений; оптический, тепловой и радиоволновой контроль материалов и изделий; контроль герметичности труб и емкостей методами течеискания; оптические методы обработки изображений и др. В большинстве проектов студенты представляют к защите конструкторские разработки новых устройств, приборов и систем НК.

За период обучения студенты проходят на промышленных предприятиях две производственные и преддипломную практики. Каждому студенту на период практики выдается индивидуальное задание, связанное с изучением и освоением какого-то вида НК для промышленных объектов, анализом и изучением конкретного технологического процесса и его влияния на качество изделий, изучением технических средств и методик контроля на предприятии или в лаборатории.

В учебном процессе широко используются современные образовательные методики и технологии: комплекс контрольно-обучающих программ по специальным дисциплинам; система организации самостоятельной работы студентов по различным дисциплинам; экспертная система для проведения государственного экзамена; система автоматизированного технического проектирования и др.

В докладе рассмотрена проблема компетентного подхода при реализации учебного процесса в соответствии с новыми образовательными стандартами для подготовки специалистов по неразрушающему контролю и диагностики. Приведены структура и сравнительный анализ учебных планов белорусских и российских образовательных программ. Рассмотрены особенности методического обеспечения дисциплин на кафедре «Физические методы контроля», инновационные подходы к построению учебных занятий и организации самостоятельной работы студентов.

дится к контролю состояния граничного смазочного слоя (ГСС).

Целью работы было разработать стенд для входного контроля подшипников качения и методику оценки его состояния по триботехническим, электрическим и акустическим параметрам.

Стенд состоит из приводной установки 1, и измерительно-управляющего модуля 2 (рис. 1). Приводная установка позволяет обеспечить зажим, центрирование, вращение, создание осевой и радиальной нагрузок на контролируемый подшипник.

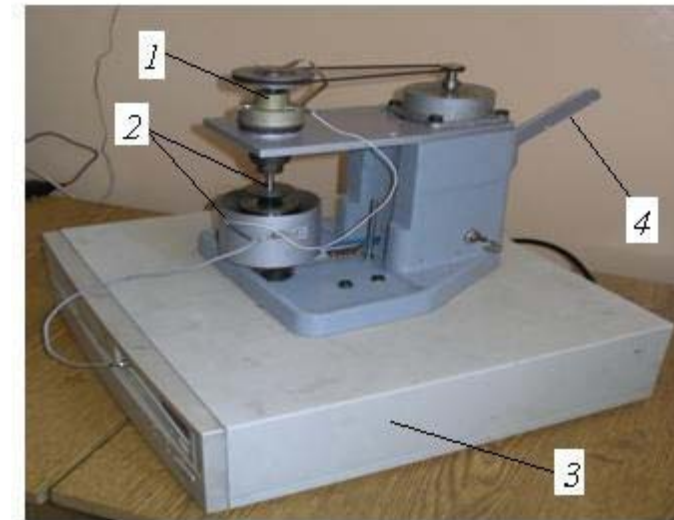


Рис. 1. Внешний вид стенда для входного контроля подшипников качения: 1 – приводная установка; 2 – конические оправки для закрепления подшипника; 3 – измерительно-управляющий комплекс; 4 – рычаг нагружения

Измерительно-управляющий модуль управляет приводом вращения, проводит измерение и анализ акустических параметров (АЭ, вибрация), момента трения, контактного сопротивления, температуры, давая качественную и количественную оценку технического состояния подшипников в соответствии с требованиями нормативных документов потребителя или изготовителя.

Принцип работы стенда основан на измерении и анализе электрических, акустико-эмиссионных и вибрационных сигналов, получаемых от соответствующих преобразователей при осевом и радиальном нагружении контролируемого подшипника с последующей обработкой данных на компьютере.

Стенд позволяет проводить диагностику подшипников различных типов и размеров: шариковые и роликовые радиальные однорядные и двухрядные с упорным бортом и без него; внутренний посадочный диаметр подшипников – 12...40 мм; наружный диаметр – 30...80 мм, ширина – 7...106 мм. Частота вращения внутреннего кольца контролируемого подшипника – 900...1800 об/мин. Диапазон прилагаемой нагрузки на подшипник – 0...2 кН.

Цикл работы стенда состоит из следующих основных последовательных стадий.

О. В. ХОЛОДИЛОВ, Д. Ю. БЕЛОНОГИЙ, *С. В. КОРОТКЕВИЧ,
**В. В. КРАВЧЕНКО

УО «БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ТРАНСПОРТА»

*РУП «ГОМЕЛЬЭНЕРГО»

**УО «ГОМЕЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
им. Ф. Скорины»
Гомель, Беларусь

Подшипники качения являются одним из наиболее уязвимых узлов механических систем, т. к. они подвергаются механическим и тепловым нагрузкам, работают в условиях вибраций, биениям и т.п. Поэтому надёжность эксплуатации таких систем во многом определяется долговечностью подшипников [1]. Обеспечение входного контроля подшипников качения, который сразу выявил их дефекты (микротрекеры, несоосность, наличие смазочного материала (СМ) с низкими триботехническими свойствами или его недостаточное количество и т. д.), является актуальной проблемой для потребителей.

Существующие системы оценки технического состояния и диагностики подшипников обычно используют методы вибродиагностики, в частности: по спектру огибающей, по спектру вибросигнала, ПИК-фактор и др. [2]. Входной контроль подшипников по параметрам вибрации проводится на специальных стендах типа СП 180М (ООО «ДИАМЕХ-2000», Москва, Россия), СВК-А (ООО НПП «ТИК», Пермь, Россия), SP-1500 (компания MVR, С.-Петербург), КОМПАКС-РПП (НПЦ «Динамика», Омск, Россия). Они также позволяют выявлять дефекты поверхностей качения, сепаратора и геометрические погрешности как у новых, так и у ремонтных подшипников.

Диагностика по параметрам вибрации позволяет выявлять дефекты подшипников только на достаточно позднем этапе их развития. На начальном и среднем – достоверность диагноза составляет 30–50 %. Фактически, это предаварийная диагностика подшипников, когда состояние подшипников характеризуется его полной деградацией.

Реже для диагностики подшипников качения используются триботехнические методы, электрофизические и акустической эмиссии [3–5], которые позволяют отследить именно начальную стадию развития дефектов. Поэтому сочетание вибрационных и вышеперечисленных методов может дать наиболее полную информацию о состоянии подшипника.

Поскольку подшипники качения всегда работают в присутствии смазочного материала, то последний можно отнести к элементам конструкции подшипника. В этой связи, ранняя диагностика подшипников качения сво-

К. Е. АББАКУМОВ, Р. С. КОНОВАЛОВ
ГБОУ ВПО «САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ «ЛЭТИ»

Санкт-Петербург, Россия

Как известно, акустоэлектронные устройства (фильтры, резонаторы, линии задержки и т.д.) на поверхностных акустических волнах (ПАВ) в качестве рабочего акустопровода используют пьезокристаллические подложки кварца, ниобата лития, танталита лития и т.д. [1]. При этом для возбуждения и приема ПАВ применяется встречно-штыревой преобразователь (ВШП), представляющий систему вложенных друг в друга металлических электродов. Распространение другого типа ПАВ (волны Стоунли) возможно также в многослойной структуре типа: пьезоэлектрическая пленка (например, пленка нитрида алюминия ALN/непьезоэлектрическая подложка (например, сапфир Al_2O_3 , кремний Si). Кроме этого, в отдельной тонкопленочной (толщина пленки h меньше длины λ электроакустической волны) пьезокристаллической структуре ALN возможно распространение объемных акустических волн различного типа [2]. При этом возбуждение таких волн возможно как при помощи сплошных электродов, нанесенных на верхнюю и нижнюю поверхность пьезопленки, так и с помощью традиционных встречно-штыревых преобразователей, используемых при возбуждении ПАВ. На этом принципе, в настоящее время, разрабатываются всевозможные СВЧ акустоэлектронные приборы, основой которых является акустоэлектронный СВЧ резонатор на объемных волнах (FBAR-film bulk acoustic resonator [2]).

В настоящей работе теоретически исследовались свойства электроакустических волн, распространяющихся в тонкопленочных гетероэпитаксиальных структурах, выращенных на различных подложках методом молекулярно-лучевой эпитаксии (МЛЭ). Границы раздела сред в тонкопленочных структурах, в данном случае, сформированы множеством выступов и впадин микрорельефа. При этом одним из наиболее удачных описаний подобного нарушения акустического контакта является модель «нежесткого» соединения, предусматривающего непрерывность усилий сцепления и отсутствие полей малых перемещений. Подобный подход был применен авторами в предшествующих работах [3]. Для изучения свойств электроакустических волн типа Стоунли, распространяющихся в таких структурах, необходимо воспользоваться волновыми уравнениями пьезоакустики [1], из которых можно рассчитать основные параметры (скорость, коэффициент электромеханической связи, температурный коэффициент задержки, угол потока энергии и т. д.) электроакустических волн, распространяющихся в данных струк-

турах. Однако граничные условия для «классических» задач, в данном случае, не подходят, поскольку должны учитывать «неполную» передачу смещений волны при переходе границы раздела сред. При подобном подходе, а также учитывая непрерывность компонент напряжений, электрических потенциалов и диэлектрических смещений, были получены зависимости скорости волны типа Стоунли от степени сплошности границы. Анализ данных зависимостей показал наличие дисперсии скорости волны в зависимости от частоты. Следует отметить, что в предельных случаях параметров «нежесткой» связи границ пьезопленки и подложки, наблюдалось полное соответствие свойств электроупругой волны, соответствующих свойствам указанных волн при «жестком», либо «скользящем» соединении, полученных в работе [4].

Таким образом, в рамках предложенной модели «нежесткого» соединения, решена задача о распространении поверхностных волн типа Стоунли вдоль границ твердых пьезоэлектрических сред. Показано, что варьированием параметров соединения границ подложки и пьезопленки можно добиться изменения скорости электроупругой волны. Выращенная же при таком условии гетероэпитаксиальная структура (0002) ALN/Z-срез Al_2O_3 может быть использована при конструировании акустоэлектронных устройств различного типа (линия задержки, фильтр, резонатор и т. д.), а также для построения на ее основе СВЧ акустоэлектронных резонаторов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Мэтьюз, Г. Фильтры на поверхностных акустических волнах. Расчет, технология и применение / Г. Мэтьюз. – М. : Радио и связь, 1981. – 472 с.
2. Lakin, M. Thin film resonator technology / M. Lakin // IEEE Trans. On ultrason., ferroelectr., and frequency control. – 2005. – V. 52. – № 5. – P. 707–715.
3. Аббакумов, К. Е. Влияние нарушения акустического контакта на распространение волн Стоунли вблизи границы твердых полупространств / К. Е. Аббакумов, Р. С. Коновалов // Дефектоскопия. – 2008. – № 3. – С. 52–58.
4. Параметры поверхностных акустических волн, распространяющихся в гетероэпитаксиальных структурах ALN/ Al_2O_3 , ALN/Si // Современные наукоемкие технологии. – 2012 – № 1. – С. 48–53.

E-mail: KEAbbakumov@mail.eltech.ru
RSKonovalov@rambler.ru



Рис. 2. Значения функции принадлежности к 4-м классам технического состояния объекта № 55

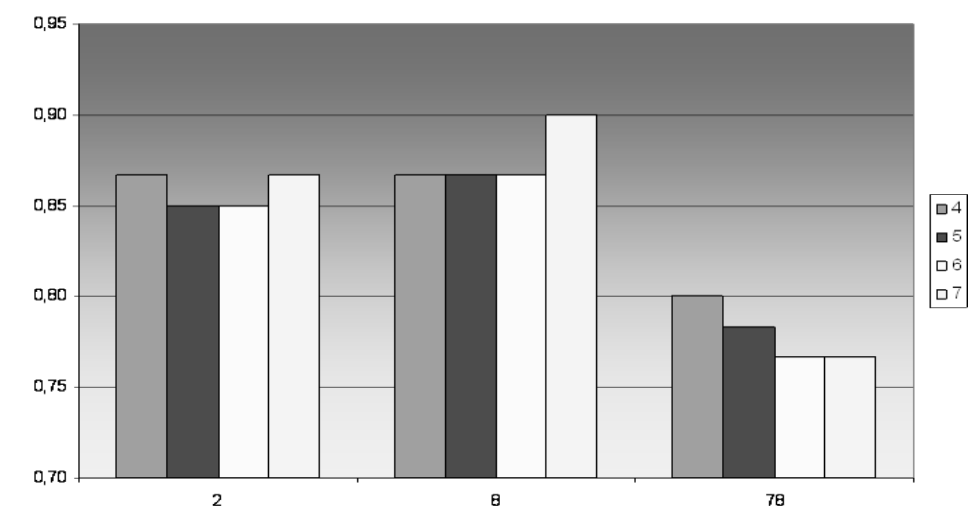


Рис. 3. Достоверность диагностики турбохолодильников

Анализ результатов кластеризации и практического применения алгоритмов нечеткой кластеризации показывает, что задача постановки диагноза решается не полностью. С одной стороны, оператор имеет информацию о принадлежности объекта к различным классам ТС. Степень принадлежности является своеобразным эквивалентом степени развития дефекта и мгновенной степени его проявления в диагностическом сигнале. С другой стороны, минимальное значение функции принадлежности определяет чувствительность системы и требует проведения исследований. Тем не менее, применение рассмотренных критериев диагностики позволяет более оперативно внедрять вибродиагностику на практике и создавать автоматизированные системы вибродиагностики.

E-mail: AvFan@yandex.ru

ограниченности информации целесообразно применять методы кластеризации. Методы кластерного анализа не требуют предварительного обучения и позволяют выделять новые классы по мере их появления.

Автором используется алгоритм нечеткой кластеризации Беджека-Данна (FCM). Входом алгоритма является матрица объект-свойство и число распознаваемых классов. Выходом алгоритма является матрица принадлежности объектов к классам ТС.

Для практического исследования работы алгоритма используются результаты эксперимента на турбохолодильниках, проведенного на ОАО "558 авиационный ремонтный завод". Число распознаваемых классов ТС $c=c_0+2$, где c_0 – число априорно известных классов ТС.

Алгоритм присвоения имени кластерам, сформированным на выходе FCM – алгоритма представлен на рис. 1. Для оценки возможности выявления новых классов ТС объекты с дефектами подавались на вход алгоритма последовательно. Признаком выявления нового класса являлось появление кластера с именем "Неизвестный".

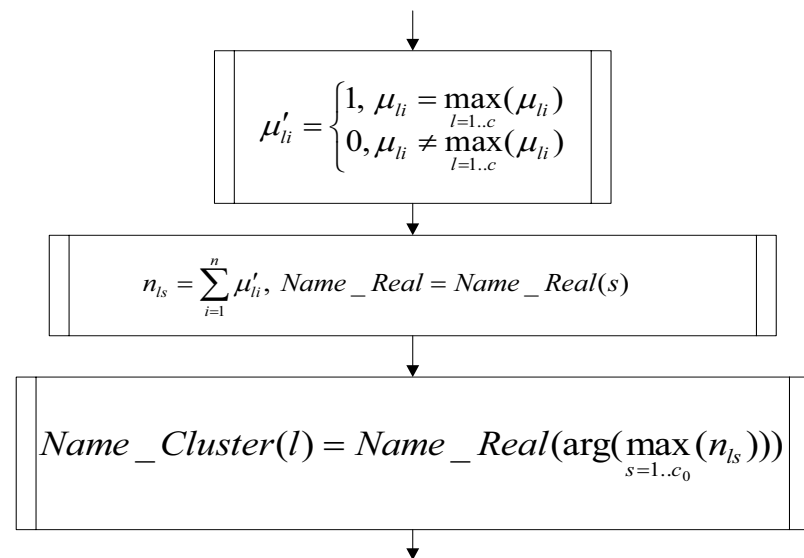


Рис. 1. Алгоритм присвоения имени кластеру, сформированному на выходе FCM-алгоритма

Результатом кластеризации являются значения функции принадлежности всех объектов к каждому классу ТС (рис. 2). Для постановки диагноза применялось решающее правило: "Объект принадлежит к тому классу ТС значение функции принадлежности к которому максимально при условии, что значение функции принадлежности более 0,65". Достигнутая достоверность диагностики при распознавании 4–7 классов ТС, при использовании 2-х, 8-ми и 78-ми признакового пространства представлена на рис. 3. При этом достигнуты следующие показатели качества диагностики: вероятность ложной тревоги – 0...0,075; вероятность пропуска дефекта – 0,015...0,1.

А. Е. АНИСИМОВА, Г. В. КУЛАК, Т. В. НИКОЛАЕНКО
 УО «МОЗЫРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ПЕДАГОГИЧЕСКИЙ
 УНИВЕРСИТЕТ им. И.П. Шамякина»
 Мозырь, Беларусь

В работе [1] экспериментально исследована акустооптическая диагностика волн Лэмба при их распространении и отражении от края пластины из плавленого кварца. При этом теоретические исследования ограничились лишь изучением геометрических соотношений при дифракции света на ультразвуке.

В настоящей работе теоретически исследованы поляризационные и энергетические характеристики световых волн s - и p - поляризации, дифрагированных на бегущих ультразвуковых (УЗ) волнах Лэмба нулевого порядка пластины с целью их диагностики.

При $h \leq \Lambda_s$, где Λ_s – длина волны объемной сдвиговой УЗ волны в слое, в нем распространяется незначительное число мод Лэмба. При этом основные моды Лэмба s_0 и a_0 локализируются лишь в поверхностном слое толщиной $\sim \Lambda_s$ и свет дифрагирует на них в режиме Рамана-Ната (рис. 1).

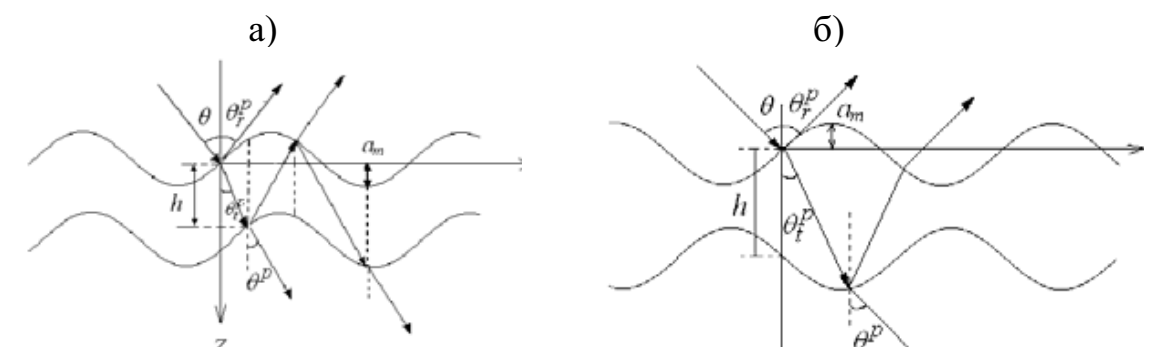


Рис. 1. Схема отражения световой волны от плоскопараллельного слоя, возмущенного антисимметричной (а) и симметричной (б) модой Лэмба (θ – угол падения света; θ_r^p – угол отражения; θ_t^p – угол преломления; θ^p – угол преломления на выходе слоя; $p=0, \pm 1, \pm 2, \dots$ – порядок дифракционного максимума; h – толщина слоя при отсутствии деформации, a_m – амплитуда смещения границ слоя)

УЗ волна создает периодическую в пространстве и во времени решетку искривлений поверхности вдоль оси X . Численные расчеты проводились для слоя из плавленого кварца (SiO_2), расположенного в воздухе. Полагалось, что длина световой волны $\lambda_0=0,63$ мкм, частота УЗ волны $f=7$ МГц, фазовая скорость основной моды Лэмба $v=3409$ м/с; $n_2=1,46$.

На рис. 2 представлены зависимости энергетического коэффициента отражения R_{\parallel}^p ($p=0,1,2,3$) от амплитуды смещения a_m поверхности слоя для антисимметричной (а) и симметричной (б) моды Лэмба нулевого порядка.

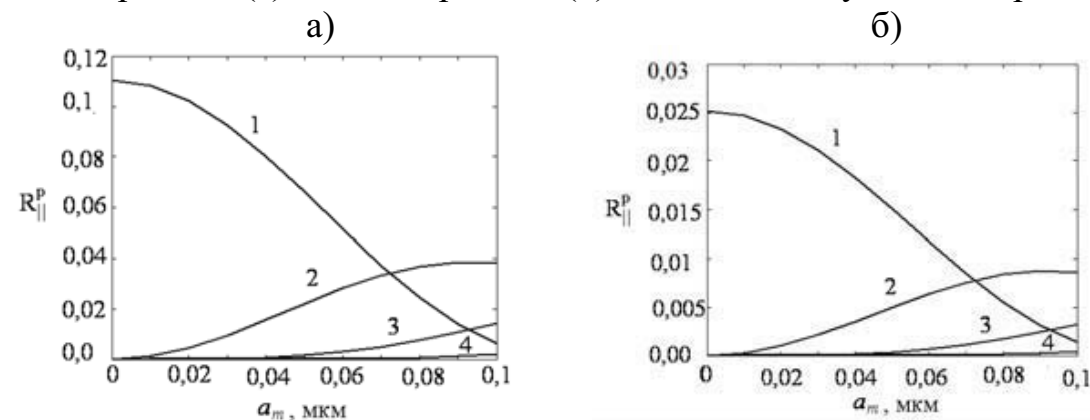


Рис. 2. Зависимость энергетического коэффициента отражения R_{\parallel}^p от амплитуды смещения поверхности слоя a_m для нижней антисимметричной (а) и симметричной (б) моды Лэмба для различных дифракционных порядков p : 1-0, 2-1, 3-2, 4-3 ($\theta = 5^\circ$, SiO_2 , p - поляризация света)

Из рис. 2, а следует, что энергетический коэффициент отражения R_{\parallel}^0 достигает максимального значения $\sim 0,11$ при отсутствии деформации. При наличии деформации начинают проявляться побочные дифракционные максимумы. Наибольшее значение коэффициента отражения $R_{\parallel}^1 \approx 0,038$ достигается для $a_m \approx 10^{-7}$ м. Поведение коэффициента отражения для дифракции на симметричной моде (s_0) качественно не отличается от случая дифракции на антисимметричной моде (a_0). Однако, как показано на рис. 2, б, энергетические коэффициенты отражения ниже. Такая особенность АО дифракции на симметричной моде Лэмба объясняется значительным (противофазным) расогласованием отражательных способностей верхнего и нижнего слоя. Для s -поляризованных волн имеют место аналогичные зависимости.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Diodati, P. Lamb wave reflection at the plate edges. / P. Diodati, G.Tassi, A. Alippi // Appl. Phys. Lett. – 1985. – V.47. – № 6. – P. 573–575.
2. **Викторов, И. А.** Физические основы применения ультразвуковых волн Рэлея и Лэмба в технике / И. А. Викторов. – М. : Наука, 1966. – 167 с.

УДК 620.179

КРИТЕРИИ ВИБРОДИАГНОСТИКИ МАШИН В УСЛОВИЯХ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ И НЕПОЛНОТЫ АПРИОРНОЙ ИНФОРМАЦИИ

Д. А. ТКАЧЕВ

УО «ВОЕННАЯ АКАДЕМИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ»

Минск, Беларусь

В качестве количественных и качественных характеристик технического состояния изделия обычно используются контролируемые параметры с установленными нормативами по допустимому изменению их численных значений. По каждому контролируемому параметру в эксплуатационной документации указывается нормативное значение, чаще всего соответствующее техническим состояниям (ТС): функционирования, работоспособности или исправности. Реже указываются нормативы параметра для нефункционирующего, неработоспособного или неисправного состояний.

На практике определить параметры распределения оказывается сложно. В таких случаях применяют критерии для типовых объектов, указанных в технических нормативно-правовых актах. Стандарт ГОСТ ИСО 10816-97 является базовым документом для разработки руководств по измерению и оценке вибрации машин. Критерии оценки для машин конкретных типов должны быть установлены в соответствующих стандартах или в эксплуатационной документации. Разработка критериев проводится по группе однотипных изделий.

Для малосерийных или единичных изделий этап обучения может занимать длительное время. Ситуация усложняется, когда проведение практических исследований с внесением всех возможных дефектов на объекте диагностики выполнить невозможно, из-за высокой стоимости самого изделия и его эксплуатации. Как следствие, основным фактором, определяющим низкую интенсивность применения вибродиагностики в эксплуатации авиационной техники, является отсутствие методик и методических рекомендаций по принятию диагностических решений, обеспечивающих достаточный уровень достоверности диагноза.

Альтернативой описанных методов является применение алгоритмов распознавания основанных не на статистических данных, а на анализе расстояний между объектами в диагностическом пространстве или потенциалов специальных функций. Для решения задачи диагностики, при ограниченности информации, целесообразно применять методы распознавания без учителя, что позволит выделять новый класс, который ранее не был представлен в исходных данных. Наиболее широкое применение получили нейронные сети и четкие и нечеткие методы кластеризации. Так как применение нейронных сетей с обучением без учителя при появлении нового класса требует контролируемого процесса переобучения сети, для диагностики в условиях

Авторами проведен расчет параметров схемы замещения для асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором АО2-32-4-2 УХЛ4 по его паспортным (справочным) данным по нескольким методикам. Используя математический пакет MATLAB фирмы TheMathWorksInc и его инструментальное приложение Simulink совместно с SimPowerSystems разработана имитационная модель, позволяющая смоделировать основные динамические режимы работы исследуемого двигателя (пуск, реверс, динамическое торможение и др.). Проведен расчет угловой скорости и тока статора в функции времени в переходных режимах пуска и торможения, для рассчитанных параметров схемы замещения по разным методикам.

Проведены экспериментальные исследования асинхронного двигателя АО2-32-4-2 УХЛ4: сняты осциллограммы тока и угловой скорости в функции времени при пуске и торможении двигателя. Эксперимент проводился на лабораторном оборудовании кафедры "Электропривод и автоматизация промышленных установок" университета в лаборатории теории электропривода. В качестве датчика тока использовался трансформатор тока, в качестве датчика угловой скорости – тахогенератор постоянного тока. Результаты экспериментальных исследований записывались через линейный вход звуковой карты компьютера с применением программного обеспечения SpectraLAB.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Справочник по электрическим машинам: в 2 т.; под общ. ред. И. П. Копылова, Б. К. Клокова. – М. : Энергоатомиздат, 1989. – 688 с.
2. **Мощинский, Ю. А.** Определение параметров схемы замещения асинхронной машины по каталожным данным / Ю. А. Мощинский, В. Я. Беспалов, А. А. Кирякин // *Электричество*. – 1998. – № 4. – С. 39–42.
3. **Фираго, Б. И.** Учебно-метод. пособие к курсовому проектированию по теории электропривода для студентов специальности 1-53 01 05 / Б. И. Фираго. – Мн. : БНТУ, 2004. – 88 с.
4. **Усольцев, А. А.** Определение параметров модели асинхронного двигателя по справочным данным / А. А. Усольцев, Д. В. Лукичев // *Известия вузов. Приборостроение*. – 2008. – Т. 51, N 10. – С. 36–41.
5. **Черных, И. В.** Моделирование электротехнических устройств в MATLAB, SimPowerSystems и Simulink / И. В. Черных. – М. : ДМК Пресс, СПб. : Питер, 2008. – 288 с.

УДК 620.179.16

АМПЛИТУДНО-УГЛОВЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПАВ, ВОЗБУЖДАЕМЫХ В МЕТАЛЛАХ С УПРОЧНЕННЫМ ПОВЕРХНОСТНЫМ СЛОЕМ

М. В. АСАДЧАЯ, * О. С. СЕРГЕЕВА, * С. В. САДОВСКИЙ, Н. Н. ГИЛЬ
ГНУ «ИНСТИТУТ ПРИКЛАДНОЙ ФИЗИКИ НАН Беларуси»
*ГУ ВПО «БЕЛОРУССКО-РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
Минск, Могилев, Беларусь

В настоящее время в промышленности широко используются изделия с упрочненным поверхностным слоем (УПС), выполненным закалкой ТВЧ, цементацией, лазерным отжигом, химико-термической обработкой и другими технологиями. УПС представляет собой среду с плавно изменяющимися по высоте физико-механическими свойствами, причем, как показывают исследования [1], эти свойства хорошо коррелируют с таким акустическим параметром, как скорость поверхностной волны (ПАВ).

Для контроля параметров УПС по данным скорости ПАВ в качестве источника волн используются наклонные пьезопреобразователи (ПЭП), угол призмы которых β соответствует максимуму коэффициента преобразования энергии продольной волны в ПАВ: $\beta = \arcsin(C_L/C_R)$, где C_L/C_R – скорости продольной волны в призме и ПАВ в объекте соответственно.

Предполагается, что если изменения упругих свойств в поверхностном слое не превышают нескольких процентов, это не влияет на точностные характеристики метода измерений. Однако, полученные экспериментальные данные, а также анализ особенностей формирования акустических полей в объектах с УПС показывают, что изменение безразмерной толщины слоя $h^* = h/\lambda$ в достаточно широком диапазоне сопровождается значимым для достоверности измерений изменением параметров сигнала ПАВ.

Важным фактором, оказывающим воздействие на эффективность излучения ПАВ, является угол призмы β , от которого существенно зависит коэффициент преобразования падающей продольной волны в ПАВ K_{LR} . Расчет K_{LR} для реальных условий прозвучивания объектов с УПС весьма затруднителен. Кроме того, при определенных условиях, на результаты измерений может оказать влияние и сопутствующая мода – подповерхностная поперечная волна (ППВ), генерируемая одновременно с поверхностной волной и имеющая скорость на 8–10 % больше [2].

Для проведения экспериментальных исследований применялись пьезоэлектрические преобразователи (ПЭП) с переменным углом призмы β . Частотный диапазон исследований $f = 1–5$ МГц. Стальные образцы в форме параллелепипеда размерами 40×40×100 мм были подвергнуты поверхностному

упрочнению закалкой ТВЧ. Глубина УПС h на разных образцах составляет от 0 до 1,5 мм.

На рис.1 представлены зависимости амплитуды ПАВ A_R от β . Как установлено, угол максимума амплитуды волны β_m возрастает с увеличением относительной глубины упрочненного слоя в диапазоне $h' = h/\lambda = 0-0,5$. Т.е. β_m возрастает с увеличением h при $f = \text{const}$, либо с увеличением рабочей частоты, но при постоянной глубине h .

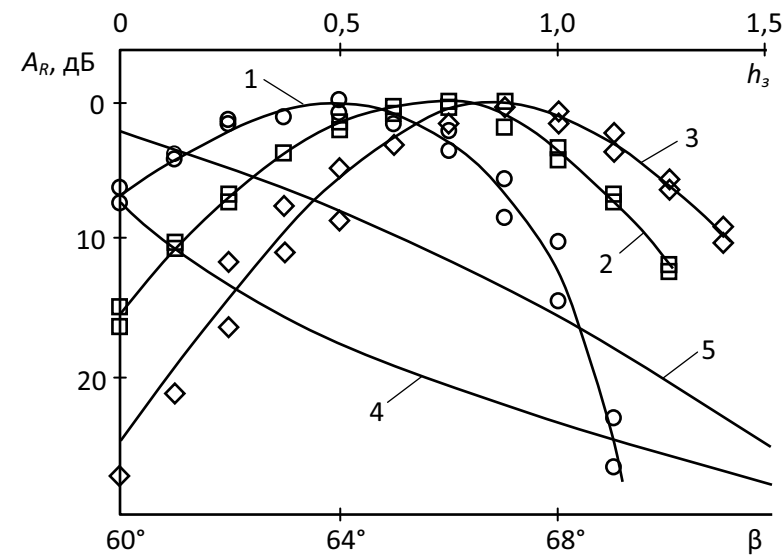


Рис. 1. Зависимость нормализованной амплитуды отраженного сигнала рэлевской волны на частоте 1,8 МГц от угла призмы β (1–3) и от глубины закаленного слоя h_s (4, 5): h , мм = 0 (1); 0,4 (2); 1,5 (3); $\beta = 60^\circ$ (4); 69° (5)

Для характеристики отличия амплитуды ПАВ, возбуждаемой при одном и том же угле падения продольной волны β на поверхности сырого образца и образца с упрочненным слоем, введен параметр $\xi_R = 20 \log(A_R/A_{R0})$, где A_{R0} соответствует нулевой глубине УПС. Как показывают исследования, наибольшее расхождение кривых $A_R(\beta)$ и $A_{R0}(\beta)$ достигается в случае $\beta_{m0} > \beta > \beta_{my}$, где углы β_{m0} и β_{my} соответствуют углам падения волны на сырой образец и образец с упрочненным слоем, для которых амплитуда ПАВ достигает максимума. Это весьма наглядно проявляется на частоте $f = 1,8$ МГц и 5 МГц и менее выражено для $f = 1$ МГц. Так, для углов падения волны $69^\circ \geq \beta \geq 60^\circ$ возрастание глубины УПС от нуля до 1,4–1,5 мм сопровождается монотонным падением ξ_R более чем на 20 дБ (рис. 1), а при $\beta = \beta_{m0} = 64^\circ$ (оптимальном для возбуждения ПАВ в сыром образце) $\xi_R \sim 4-6$ дБ. При возможности точной установки углового положения излучающего и (или) приемного ПЭП ($\sim 0,1^\circ$) и измерения амплитудно-угловых зависимостей $A_R(\beta)$ представляется возможным производить оценку глубины УПС с погрешностью 0,1–0,2 мм.

- линейный или фазный ток – $I_{\text{НОМ}}$, (А);
- частота вращения – $n_{\text{НОМ}}$, (об/мин) или скольжение – $s_{\text{НОМ}}$, (%);
- коэффициент мощности – $\cos \varphi$, (о.е.);
- коэффициент полезного действия – $\eta_{\text{НОМ}}$, (%);

а также:

- кратность максимального момента $\mu_K = M_K/M_{\text{НОМ}}$;
- кратность пускового момента $\mu_{\text{П}} = M_{\text{П}}/M_{\text{НОМ}}$;
- кратность пускового тока $i_{\text{П}} = I_{\text{П}}/I_{\text{НОМ}}$.

Одной из задач при любом моделировании динамических процессов в асинхронном двигателе является определение параметров схемы замещения, показанной на рис. 1. Анализ интернет-запросов показывает, что интерес к этой проблеме не ослабевает.

Так как в справочных данных содержатся координаты трёх точек механической характеристики (номинальный момент и частота вращения, максимальный момент и пусковой момент), а токи даны только для двух режимов (номинального и пускового), то расчёт параметров схемы замещения необходимо вести по механическим величинам. При этом для механических величин может быть обеспечена сходимость к справочным данным, а для электрических величин будет возникать ошибка.

Известны различные методики по определению параметров схемы замещения, например [2–5], отличающиеся различной степенью сложности и точности. Некоторые авторы находят параметры схемы замещения, применяя итерационные методы. Однако такие расчеты сложны для применения на практике.

Известны попытки ряда авторов определить параметры схемы замещения на основе уравнений асинхронной машины и её характеристик. В литературе описаны специальные методики определения параметров. В большинстве таких методик по определению параметров схемы замещения используются упрощенные аналитические выражения для расчета тока холостого хода и критического скольжения, основанные на соотношениях, полученных из круговой диаграммы асинхронного двигателя.

Параметры схемы замещения могут быть также найдены экспериментально и с помощью различных измерений. Параметры схемы замещения рассчитываются на основе данных опыта холостого хода и опыта короткого замыкания при номинальном токе. Методика проведения испытаний трехфазной машины устанавливается государственным стандартом.

Каждая из рассмотренных методик обладает разной степенью сложности и позволяет определить требуемые параметры с разной точностью. Вопрос лишь в том, какая из методик при небольших затратах на вычисления позволит получить приемлемые результаты, и, следовательно, будет рекомендована к практическому применению для определения параметров схемы замещения двигателя в инженерных расчетах.

УДК 621.313
 ВЫБОР ПО ПАСПОРТНЫМ ДАННЫМ МЕТОДИКИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ
 ПАРАМЕТРОВ СХЕМЫ ЗАМЕЩЕНИЯ АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ
 С КОРОТКОЗАМКНУТЫМ РОТОРОМ

Б. Б. СКАРЫНО, Е. М. АЛЬШЕВСКАЯ
 ГУ ВПО «БЕЛОРУССКО-РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
 Могилев, Беларусь

Для исследования динамических режимов работы асинхронных двигателей с короткозамкнутым ротором (АДКЗ), например, при проведении имитационного моделирования в MATLAB необходимо знать параметры Т-образной схемы замещения (рис. 1), такие как:

– R_1, R_2, R_m – активные сопротивления фаз статора, ротора и цепи намагничивания;

– $L_{\sigma 1}, L_{\sigma 2}, L_m$ – индуктивности рассеяния фаз статора, ротора и цепи намагничивания.

На схеме замещения индекс (1) указывает принадлежность параметров к статору, индекс (2) – к ротору. Все параметры ротора приведены к статору, о чем свидетельствует верхний индекс (').

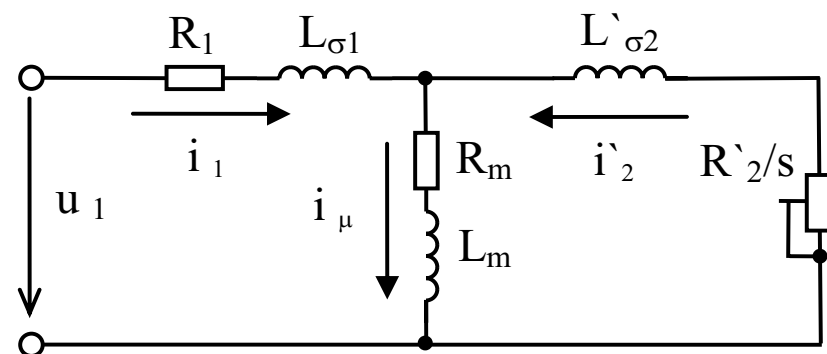


Рис. 1. Т-образная схема замещения АДКЗ

Эти параметры требуются не только для моделирования переходных процессов, но и для определения пусковых токов при выборе магнитных пускателей и контакторов, при выполнении защит от перегрузок, для регулирования и настройки системы управления электроприводом. Кроме того, они необходимы для расчета пускового режима АД, выбора режимов работы электропривода с повышенными энергетическими показателями.

В справочной литературе по асинхронным двигателям, например, в [1], приводятся следующие параметры, соответствующие номинальному режиму работы:

– механическая мощность – $P_{2НОМ}$, (Вт);

– линейное или фазное напряжение питания – $U_{1НОМ}$, (В);

Данные одновременного измерения амплитуды ПАВ и ППВ, приведенные на рис. 2, получены для случая, когда угол падения продольной волны на объект выбран в диапазоне углов $\arcsin(C_L/C_T) = \beta_1 \leq \beta \leq \beta_2 = \arcsin(C_L/C_R)$, где C_T – скорость поперечной волны в образце. Именно в этом угловом диапазоне β наиболее значительно изменяется отношение амплитуд указанных мод.

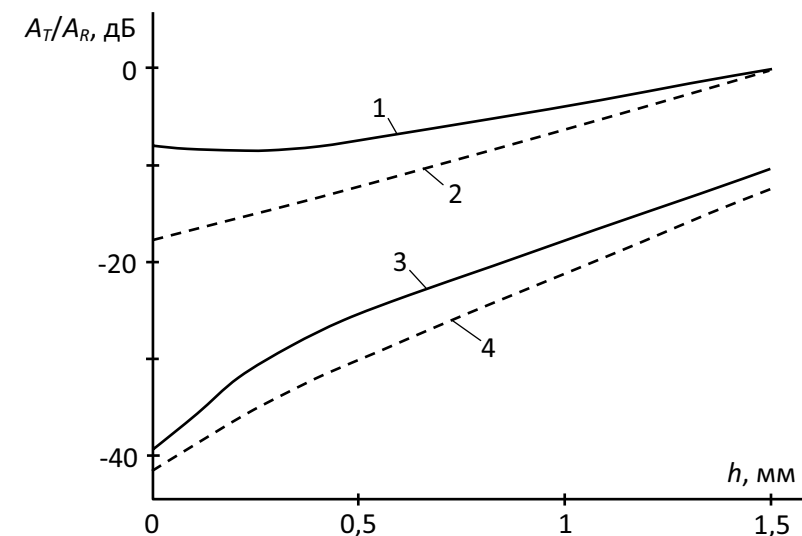


Рис. 2. Зависимость отношения амплитуд ППВ и ПАВ от глубины УПС: частота f , МГц = 5 (1, 2); 1,8 (3, 4)

Экспериментально установлено, что ход зависимости отношения амплитуд $\xi = A_R/A_T$ от β существенно зависит от глубины УПС, что свидетельствует о перераспределении вклада энергии падающей продольной волны в поверхностную и объемную моды. Знание хода функции $\xi(\beta)$ на разных рабочих частотах и образцах с УПС позволяет существенно повысить соотношение сигнал-шум и обеспечить высокую точность измерения скорости ПАВ. С другой стороны, поскольку ход $\xi(\beta)$ существенно зависит от глубины УПС, то представляет интерес использовать такие зависимости для решения обратной задачи – определения глубины УПС. Но для этого необходимо учесть влияние шероховатости поверхности объекта на ослабление ПАВ и обеспечить высокую стабильность акустического контакта в измерительной системе.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Баев, А. Р.** Ультразвуковой метод анализа поверхностного упрочнения металлических изделий / А. Р. Баев, А. Л. Майоров, М. А. Тищенко // Литье и металлургия. – 2010. – № 4. – С. 167–271.
2. **Баев, А. Р.** Особенности возбуждения и распространения продольных и поперечных подповерхностных волн в твердых телах. Волны в объектах с плоской свободной границей / А. Р. Баев, М. В. Асадчая // Дефектоскопия. – 2005. – № 9. – Ч. 1. – С. 19–31.

УДК 620.179.1

ПАРАМЕТРЫ ПАВ ПРИ ПЕРЕМЕЩЕНИИ ЛАЗЕРНОГО ЛУЧА
ОТНОСИТЕЛЬНО ПОВЕРХНОСТНОГО ДЕФЕКТА

А. Р. БАЕВ, *В. Г. ГУДЕЛЕВ, А. Л. МАЙОРОВ, *А. И. МИТЬКОВЕЦ,
В. В. ПАРАДИНЕЦ

ГНУ «ИНСТИТУТ ПРИКЛАДНОЙ ФИЗИКИ НАН Беларуси»

*ГНУ «ИНСТИТУТ ФИЗИКИ НАН Беларуси»

Минск, Беларусь

В работе обращено внимание на перспективность использования так называемого SLS-метода [1] для повышения выявляемости поверхностных несплошностей разной природы (трещины, поры, инородные включения и др.) поверхностными волнами (ПАВ). В настоящей работе изучаются закономерности изменения параметров ПАВ при их импульсно-лазерном возбуждении в твердотельном объекте и перемещении лазерного пятна (ППЛ) относительно поверхностного дефекта (ПД). Как показывает анализ оптоакустического тракта и данные экспериментальных исследований, амплитуда ПАВ и ее спектр Ξ могут быть представлены преимущественно в виде зависимостей от следующих параметров: геометрических параметров трещины (h , b , δ), временной формы интенсивности лазерного импульса $J(t)$ и области локализации ППЛ ($X \subset S_L$), а также координаты ее расположения x_c относительно центра дефекта ($x_D=0$); частотной характеристики приемного преобразователя $\Re(\omega_m - \omega)$, где h – глубина дефекта, b – ее длина, δ – ширина. Для рассматриваемого двумерного случая, когда дефектом является тонкая трещина $\delta \ll \{d, h, b, \lambda\}$

$$\{A, \Xi\} = F_i(h^*, x/d, \Re(\omega_m - \omega), J \dots), \quad (1)$$

где $h^* = h/\lambda$, $\delta^* = \delta/\lambda$, а λ соответствует рабочей частоте приема ПВ.

Экспериментальные исследования влияния расположения ППЛ в виде длинной полосы с безразмерной шириной d^* выполнены преимущественно согласно схеме, представленной на рисунке 1, где источником импульсно-лазерного излучения длительностью $\tau \sim 20$ ns использован лазер (ЛТИПЧ) с длиной волны 1,06 мкм, возбуждающий ПАВ в термоупругом режиме, большая часть энергии которой трансформируется в поверхностную моду и принимается пьезопреобразователем 5 с рабочей частотой 5 МГц. Ширина ППЛ изменяется системой коррекции луча 2. Модельная трещина 8 имеет микронное раскрытие. При проведении исследований образец с трещиной перемещается относительно ППЛ, которая служит источником ПАВ, распространяющейся вдоль x и принимаемой преобразователем 5.

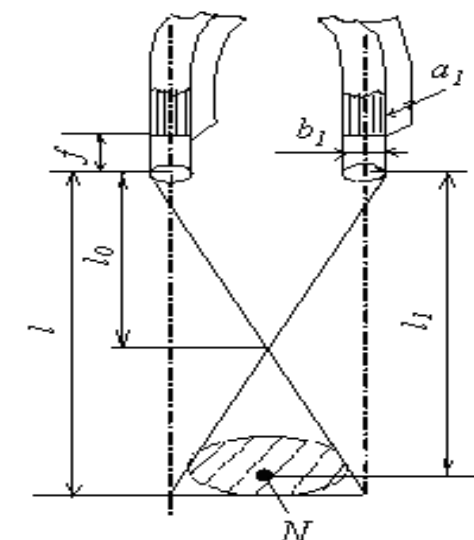


Рис. 3. Схема сканирования неоднородной поверхности N световодной оптической системой: 1 – световод излучающий; 2 – световод приемный; 3 – участок неоднородной поверхности

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Оптико-волоконное скопирование в литье и металлургии: монография / А. П. Марков [и др.] / Под общ. ред. Е. И. Маруковича. – Минск : «Белорусская наука», 2009. – 320 с.
2. Шастова, Г. А. Выбор и оптимизация информационных систем / Г. А. Шастова, А. И. Коекин. – М. : Энергия, 1972. – 256 с.

E-mail: vadim.potapkin@mail.ru

Пространственная несогласованность в структуре световодной дефектоскопии поверхностей обусловлена расходимостью воздействующего и отраженного светового потока. При передаче не весь пучок лучей, выходящий из осветительного световода при отражении даже от идеальной поверхности попадает на плоскость входного торца приемного световода (рис. 1).

Общим случаем являются схемы ориентации, когда осветительный и приемный световоды располагаются под некоторым углом θ относительно друг друга (рис. 2). В угловом расположении световодов площадь освещенной зоны существенно зависит и от удаления участка поверхности. При этом, чем больше это расстояние, тем меньше засвеченная зона приемного торца световода.

На практике выбор элементов системы световодной дефектоскопии определяется характеристиками объектива, светопропускания жгута и окуляра. На отображении оптического изображения дефектоскопируемого участка поверхности сказывается и окружающая среда, ее многофакторные воздействия.

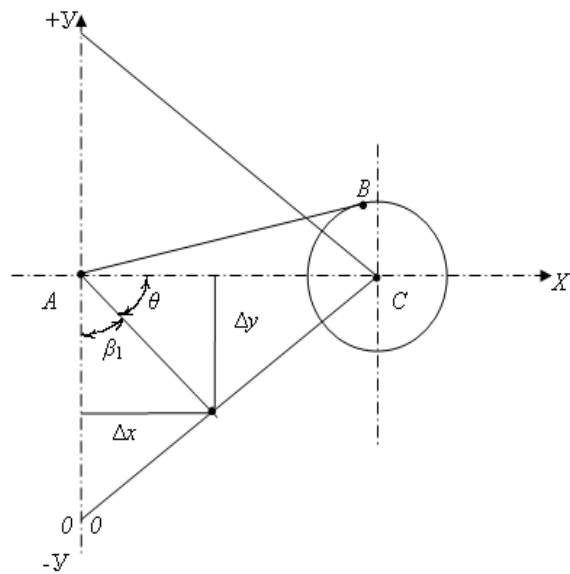


Рис. 2. Расчетная схема с угловым θ расположением световодов: $AB \rightarrow x$; $AO \rightarrow 2y$; $AC \rightarrow 2c$

При поиске контрастных зон поверхности изменяется взаимное положение излучателя с приемником и неоднородной поверхности. В процессе сканирования неоднородной зоны излучатель и приемник перемещаются синхронно относительно геометрического тела [2].

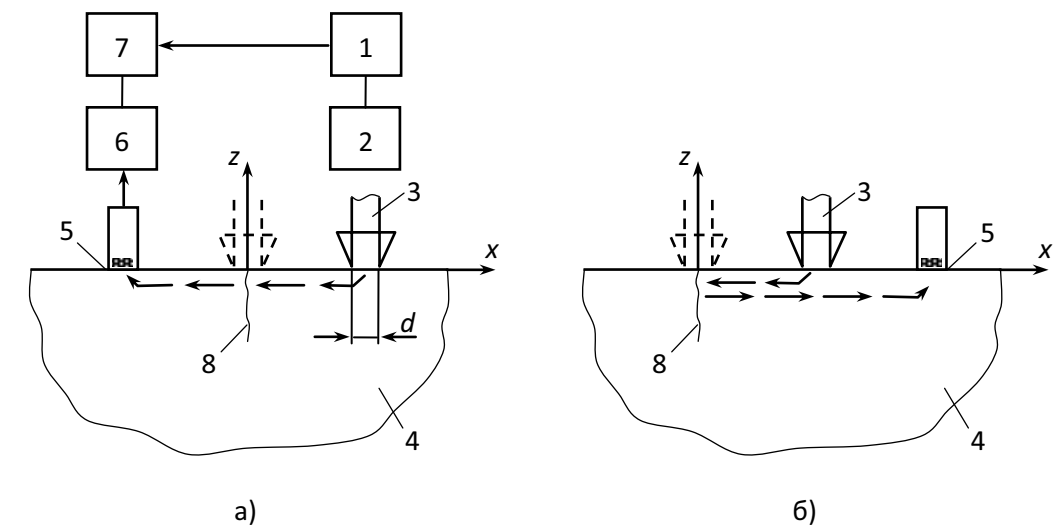


Рис. 1. Схемы эксперимента режим прохождения (а) и отражения ПАВ (б): 1 – лазер; 2 – система коррекции луча; 3 – пятно лазерного луча (ППЛ); 4 – объект; 5 – ПЭП; 6 – усилитель; 7 – блок обработки; 8 – трещина

Результаты исследований показали, что функции $A(x_c)$ и $A(d^*)$ имеют ярко выраженные локальные максимумы. Для зависимости $A(x_c)$ координата амплитудного максимума A_{max} достигается при $x_c \sim 0$ – т.е. именно в окрестности расположения трещины. Весьма важно отметить, что отношение $A_{max}/A(x_c \geq d)$ достигает величины 15–17 дБ, а форма импульса (или ее спектр) претерпевают существенные изменения. Что касается влияния ширины возбуждающего ПАВ пятна лазерного луча, то $A(d^*)$ имеет глобальный максимум, расположенный в окрестности $d^* = 1,8-2,2$. Дана трактовка полученным данным на основе анализа функциональных зависимостей (1) с позиций теории взаимодействия локальных источников упругих возмущений, при наличии неоднородных граничных условий. Полученные данные представляют значительный интерес для использования этого эффекта не только для повышения чувствительности контроля трещин при их расположении в труднодоступных местах, но и для оценки их геометрических параметров по амплитудным и спектральным данным зондирующего сигнала.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Неразрушающий контроль: справочник в 8 т. / Под общ. ред. В. В. Клюева. – М. : Машиностроение, 2006. – Т. 3. – 864 с.

УДК 620.179.1+531.4
 ТРАНСФОРМАЦИЯ ОБЪЕМНЫХ ВОЛН НА ПЛОСКОМ ДЕФЕКТЕ С
 НИЗКОЙ ОТРАЖАЮЩЕЙ СПОСОБНОСТЬЮ

А. Р. БАЕВ, А. Л. МАЙОРОВ, *О. С. СЕРГЕЕВА, В. В. ПАРАДИНЕЦ
 ГНУ «ИНСТИТУТ ПРИКЛАДНОЙ ФИЗИКИ НАН Беларуси»
 *ГУ ВПО «БЕЛОРУССКО-РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
 Минск, Могилев, Беларусь

Одна из важных проблем неразрушающего контроля (НК) значительно-го числа объектов машиностроения, транспорта, авиационной техники связана с необходимостью выявления в материалах или неразъемных соединениях дефектов с низкой отражающей способностью, имеющих место при сварке, пайке, склейке материалов. Предлагается новый подход к решению указанной проблемы на основе эффекта трансформации объемных мод на границе сцепления одинаковых материалов, поясняемый на рис. 1. Суть его заключается в том, что в одном из материалов под определенным углом возбуждается поперечная вертикально поляризованная (T) волна, имеющая скорость C_T и падающая на плоскость дефекта под некоторым оптимальным углом $\beta < \beta^* = \arcsin \frac{C_T}{C_L}$, где C_L – скорость продольной (L) волны в контактирующем (базовом) материале. В силу того, что в области расположения плоскостного дефекта $x_i \in S_D$ нарушены граничные условия относительно составляющих тензора напряжений σ_{ik} (и тангенциальной составляющей смещений ξ_r), в результате трансформации мод в объекте, наряду с поперечной (T -волной) возбуждается продольная L -волна со скоростью почти в 2 раза больше T -волны. Амплитуда последней A_L определяется конкретными граничными условиями в области дефекта, а угол максимума поля рассеяния волны на дефекте сцепления

$$\alpha = \arcsin \left[(\sin \beta) \frac{C_T}{C_L} \right]. \quad (1)$$

Таким образом, приход L -волны в любую точку контактной поверхности базового материала объекта, лежащую в области $\alpha^* < \pi/2$, будет опережать приход опорной (поперечной волны) на характерную величину $\Delta t = t_T - t_{TL} > 0$, где t_T соответствует времени распространения одного из лучей опорной поперечной волны непосредственно от источника УЗК до приемника акустического сигнала, а t_{TL} – суммарное время распространения энергии зондирующего сигнала поперечной волной (до дефекта) и продольной – после трансформации на дефекте. На основе теоретического анализа акустического тракта измерительной системы были предварительно определены оптимальные условия падения и приема УЗК, включая углы их падения и приема, апертуру мнимого источника (трансформированного сигнала), амплитудные

УДК 621.377
 ОРИЕНТИРОВАННЫЙ ПОИСК И ПЕРВИЧНАЯ ТРАНСФОРМАЦИЯ
 ИНФОРМАТИВНЫХ ИЗЛУЧЕНИЙ

В. В. ПОТАПКИН
 ГУ ВПО «БЕЛОРУССКО-РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
 Могилев, Беларусь

Своевременное обнаружение и получение оперативной информации обеспечивает контролируемость поверхности геометрического тела и управляемое спектрально-энергетическое воздействие в заданное время и место. В такой стратегии визуаскопии ориентированный поиск первичной информации имеет определяющее значение.

В ориентированном поиске контрастных зон поверхности и соответствующих информативных источников используются различные способы сканирования. Преимущественное применение находит пространственно-временное сканирование наружных и внутренних поверхностей геометрического тела [1].

Носителем первичной информации является информативное излучение, формируемое при спектрально-энергетическом взаимодействии излучения внешнего излучателя с элементом поверхности. Характер такого взаимодействия и пространственного распределения информативного излучения, относительно формирующейся неоднородной поверхности, зависит от соотношения и направленности отраженной и рассеянной составляющих излучения в индикатрисе.

Эффективность формирования и трансформации оптических изображений определяется оптимальным согласованием характеристик приемно-передающего тракта.

Спектральная согласованность обеспечивает максимальное использование информационных возможностей оптического канала от источника стимулирующего излучения до приемника информации на выходе.

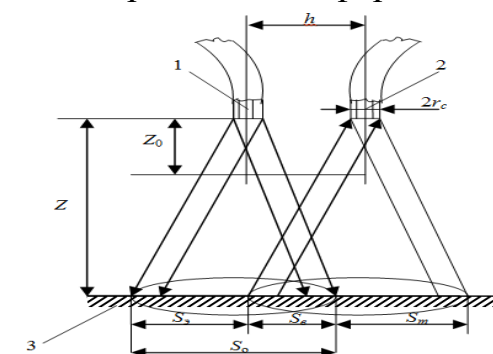


Рис. 1. Расчетная схема согласования пространственного положения торцов излучающего 1 и приемного 2 световодов; 3 – участок поверхности; S_0 , S_B , S_T , S_3 – площади изображений освещенной, видимой, теневой и эффективной, соответственно

$$S_N^{(r)}(k, \theta) = \sum_{n=0}^{N-1} x(n+r)W_N^{(k+\theta)n}, \quad (6)$$

где $W_N^{(k+\theta)n} = \exp\left[-j\frac{2\pi}{N}(k+\theta)n\right]$, $n, k = \overline{0, N-1}$; $r = 0, 1, 2, \dots$; $0 \leq \theta \leq 1$.

Уравнение СДПФ-П имеет вид (сравни с (1)):

$$S_N^{(n)}(k, \theta) = W_N^{-(k+\theta)n} \left[S_N^{(n-1)}(k, \theta) + x(n) - x(n-N) \exp(-j2\pi\theta) \right]. \quad (7)$$

Предлагаемое скользящее однобиновое параметрическое дискретное преобразование Фурье имеет следующие преимущества:

- N может быть произвольным положительным числом, а не только целой степенью двух;
- не требуется накопления данных до начала вычислений;
- алгоритм не требует двоично-инверсной перестановки данных;
- после получения установившегося значения количество операций не зависит от N;
- при тех же преимуществах, что и алгоритм Герцеля, предлагаемый алгоритм однобинового СДПФ-П требует существенно меньших вычислений.

Важным преимуществом предлагаемого однобинового СДПФ-П перед стандартным однобиновым СДПФ является то, что данный алгоритм как и алгоритм Герцеля позволяет задавать любую резонансную частоту фильтра (переменная $(k+\theta)$ может быть любой в диапазоне от θ до $(N-1)$).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Оппенгейм, Э.** Применение цифровой обработки сигналов / Э. Оппенгейм. – М.: Мир, 1980.
2. **Лайонс, Р.** Цифровая обработка сигналов / Р. Лайонс. – 2-е изд., пер. с англ. – М.: ООО «Бином-Пресс», 2007 – 656 с.
3. **Пономарева, О. В.** Развитие теории спектрального анализа дискретных сигналов на конечных интервалах в базисе параметрических дискретных экспоненциальных функций / О. В. Пономарева. – М.: Цифровая обработка сигналов. – 2010. – № 2. – С. 7–12

E-mail: cikur@udmnet.ru

параметры и время прихода сопутствующих мод, при которых обеспечивается максимальная чувствительность и надежность измерений.

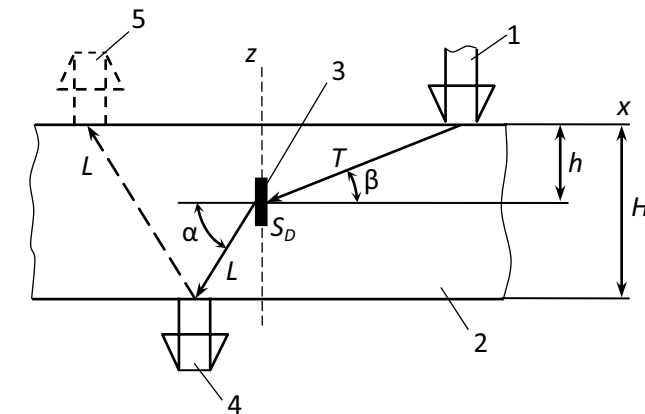


Рис. 1. Одна из схем контроля дефектов с низкой отражающей способностью поперечной волной, трансформированной в проходящую продольную волну: 1 – источник УЗК; 2 – объект контроля; 3 – дефект; 4, 5 – приемники продольной волны

Для проверки данных теоретического анализа были проведены экспериментальные исследования, где в качестве базового контактирующего материала использованы полуцилиндрические образцы из алюминия и плексигласа с установленными на их цилиндрической поверхности приемными преобразователями продольных и поперечных волн. Моделировались следующие условия на границе контакта поверхностей: а) абсолютное проскальзывание тангенциальной составляющей смещения ξ_t ; б) частичное проскальзывания ξ_t . Контроль “проскальзывания” ξ_t достигается косвенным путем – по данным параметров переотраженных сигналов сдвиговых колебаний, падающих нормально на границу сред – $\varepsilon = A_1/A_n$.

Получены зависимости амплитуды сигнала от угловых параметров зондирующего сигнала, степени закрепления или проскальзывания волны на дефектной границе $\varepsilon = A_1/A_n$, положения приемного преобразователя. Результаты экспериментального моделирования процессов формирования акустических полей при $T \rightarrow L$ трансформации волн показали принципиальную возможность выявления дефектов с разной степенью “закрепления” тангенциальной составляющей падающей на дефект T -волны. Для данных условий эксперимента установлено, что наибольшая эффективность преобразования волн $T \rightarrow L$ при минимальном шумовом фоне достигается в диапазоне углов падения T -волны $15-25^\circ$. Сопоставление расчетных и экспериментальных данных моделирования процесса прохождения поперечной волны через границу однородных сред с низкой отражающей способностью показало их качественное соответствие.

УДК 620.179.14
 ОТСТРОЙКА ОТ ФОРМЫ ДЕФЕКТА В ТЕПЛООБМЕННОЙ ТРУБЕ ПРИ
 ОЦЕНКЕ ЕГО ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ

П. А. БАРАБАНОВ, В. П. ЛУНИН
 НАЦИОНАЛЬНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ «МЭИ»
 Москва, Россия

На настоящий момент доля электроэнергии, полученной на атомных электростанциях (АЭС) в России, составляет порядка 16 % от всей производимой электроэнергии. Атомная энергетика играет важную роль в обеспечении энергией потребителей и является одной из приоритетных областей развития энергетического комплекса.

Один из важнейших узлов ядерного реактора – парогенератор (ПГ). Теплообменные трубы ПГ являются границей между первым и вторым контурами атомных электростанций, и, в связи с этим, играют важную роль в их безопасной эксплуатации.

В настоящее время на планово-предупредительных работах по проверке состояния труб ПГ одним из основных методов неразрушающего контроля (НК) является вихретоковый метод. Результатом контроля является большой объем данных, достоверная оценка которых в короткие сроки и определение геометрических параметров обнаруженных дефектов представляет собой сложную задачу даже для хорошо подготовленного специалиста-эксперта. Поэтому актуальной и перспективной задачей является создание автоматизированных систем анализа вихретоковых сигналов и параметризации обнаруженных дефектов [1].

Основной целью представленной работы является анализ влияния как геометрических параметров дефекта, так и его формы на вихретоковый сигнал, а также создание алгоритма автоматизированной интерпретации вихретоковых сигналов, то есть решение обратной задачи неразрушающего контроля (НК).

Для решения поставленной задачи необходимо иметь определенный набор сигналов от дефектов с различными геометрическими параметрами. Следовательно, прежде чем решать обратную задачу НК, необходимо получить решение прямой задачи и создать базу сигналов [2].

Прямая задача вихретокового контроля – получение сигналов от ВТП. Так как провести необходимое количество экспериментов не представляется возможным, было принято решение использовать для получения данных результаты моделирования процесса контроля методом конечных элементов [3]. В пакете *Comsol Multiphysics* была создана двумерная модель процесса контроля, позволившая получить базу модельных сигналов.

Рассмотрим обобщение алгоритма однобинового СДПФ в виде скользящего однобинового параметрического ДПФ (СДПФ-П), который, во-первых, позволяет рекуррентно вычислять значение k -ого бина N -точечного ДПФ-П из скользящего окна в N отсчетов, во-вторых, в отличие от стандартного СДПФ, позволяет проводить оценку спектра в окне в N отсчетов не на фиксированных частотах, а из набора частот, число которых варьируется θ параметром:

$$\{2\pi(k+\theta)/N\}, \quad \text{где } k = \overline{0, N-1}, \quad 0 \leq \theta \leq 1. \quad (2)$$

Из соотношения (2) непосредственно следует, что предлагаемый алгоритм обеспечивает полный контроль над резонансной частотой фильтра ДПФ-П (k -ого бина N -точечного ДПФ-П).

Автором в [3] введено понятие параметрических дискретных экспоненциальных функций (ДЭФ-П):

$$\text{def}_p(p, l, \theta) = W_N^{(p+\theta)l} = \exp\left[-j\frac{2\pi}{N}(p+\theta)l\right], \quad 0 \leq \theta \leq 1; \quad p, l = \overline{0, N-1},$$

или в матричной форме:

$$F_{N,\theta} = \begin{matrix} & & 0 & 1 & \dots & (N-1) & l \\ & 0 & \left[\begin{array}{ccccccc} 1 & W_N^\theta & \dots & \dots & \dots & 1 & \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 1 & W_N^{(N-1+\theta)} & \dots & \dots & \dots & W_N^{(N-1+\theta)(N-1)} & \end{array} \right] & \\ p & & & & & & \end{matrix}, \quad (3)$$

Разложение по базисной системе ДЭФ-П определим как прямое параметрическое дискретное преобразование Фурье (ДПФ-П):

$$S_{N,\theta} = (1/N)F_{N,\theta}X_N, \quad \text{где } 0 \leq \theta \leq 1, \quad (4)$$

и обратное ДПФ-П:

$$X_N = F_{N,\theta}^* S_{N,\theta}, \quad (5)$$

где $*$ – символ комплексного сопряжения.

ДПФ-П позволяет расширить понятие периодичности. Для ДПФ-П справедливы теоремы линейности, сдвига, корреляции и равенство Парсеваля.

Предлагаемый алгоритм СДПФ-П позволяет вычислять значения спектра $S_N^{(r)}(k, \theta)$ на $(k+\theta)$ частоте по отсчетам входного сигнала $x(n+r)$, $n = \overline{0, N-1}$ из скользящего окна длиной в N отсчетов, при сдвиге сигнала в окне на r отсчетов влево:

О. В. ПОНОМАРЕВА
ФГБОУ ВПО «ИЖЕВСКИЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
им. М.Т. Калашникова»
Ижевск, Россия

При цифровой обработке сигналов в различных областях научных исследований часто приходится сталкиваться с задачами обнаружения и измерения параметров отдельных тональных компонент (задачи анализа случайных процессов со скрытыми периодичностями). Например, для решения задач виброакустической диагностики машин и механизмов в вибрационном (или акустическом) сигнале редуктора проводят анализ рядов из гармоник оборотной, зубцовой и модуляционных частот [1]. При этом, как правило, приходится иметь дело с сигналами, спектр которых меняется во времени и возникает необходимость измерения последовательных значений спектра на определенных частотах. Способ, позволяющий проводить такие измерения, называется скользящим спектральным измерением и заключается в определении спектра сигнала на k -частоте во временном окне в N отсчетов. Окно перед повторным спектральным измерением смещается на один отсчет.

Метод ДПФ, реализуемый в форме алгоритмов БПФ, является стандартным и эффективным методом определения спектра сигнала. Однако, при решении задач обнаружения и (или) измерения параметров отдельных гармонических компонент (тональных компонент), применение ДПФ, даже реализуемого алгоритмами БПФ, становится крайне неэффективным.

В [2] предложен алгоритм однобинового скользящего ДПФ (СДПФ), который позволяет рекуррентно вычислять значение k -ого бина N -точечного ДПФ из скользящего окна в N отсчетов. Предлагаемый алгоритм более эффективен (с точки зрения вычислений), чем алгоритм Герцеля. В результате появляется возможность проводить спектральные измерения с той же частотой, с какой приходят входные отсчеты.

Уравнение СДПФ имеет вид [3]:

$$X^m(n) = e^{j\frac{2\pi}{N}mn} [X^m(n-1) + x(n) - x(n-N)]. \quad (1)$$

Отметим, что так как данный алгоритм базируется на ДПФ, то он позволяет находить отсчеты спектра только на частотах (или подмножестве частот) из фиксированного множества частот, определяемых соотношением: $\{2\pi k/N\}$, где: $k = \overline{0, N-1}$. И это недостаток СДПФ существенно ограничивает его практическое применение.

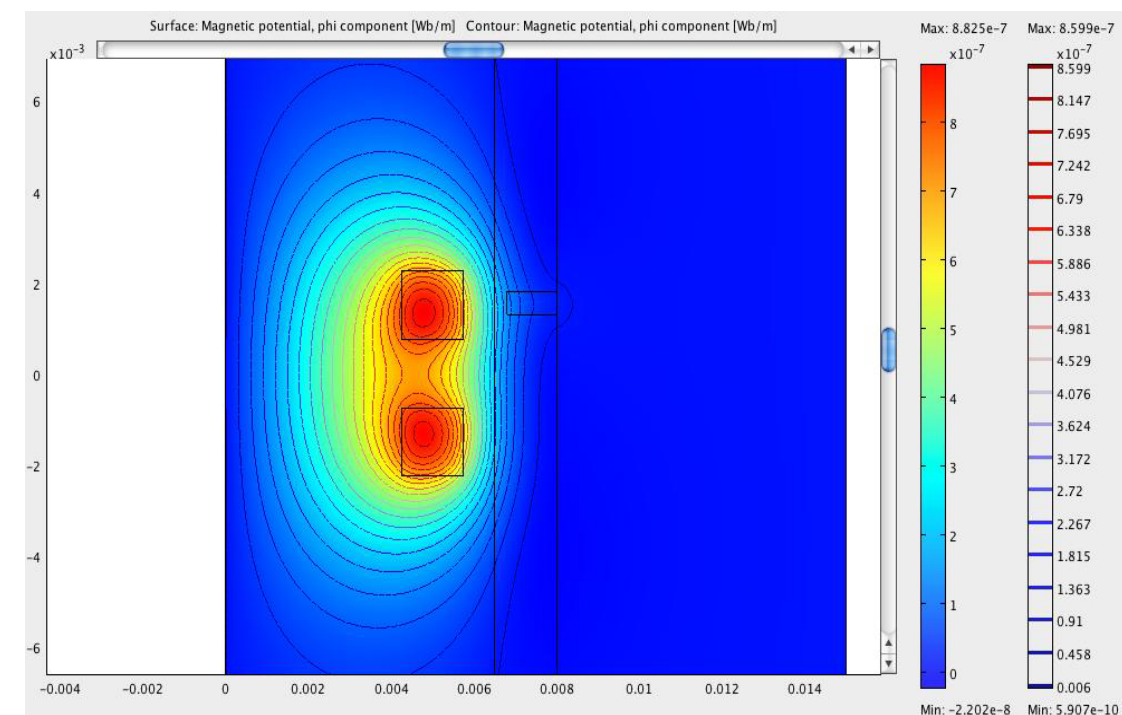


Рис. 1. Результат моделирования процесса контроля; распределение магнитного потенциала, составляющая A_ϕ

С целью анализа влияния геометрических параметров дефекта на сигнал, была составлена база данных, содержащая смоделированные сигналы от 155 дефектов на трех рабочих частотах. Все рассмотренные дефекты – круговые проточки с различными глубиной, осевой протяженностью и формой сечения (рассмотрены прямоугольная, треугольная и трапециевидная формы).

В анализируемых сигналах было выделено 16 информативных параметров, среди них: фаза, амплитуда, максимумы активной и реактивной составляющей, максимум спектра, длина годографа и другие. Затем был проведен корреляционный анализ значений признаков и интересующих нас геометрических параметров с целью выявить степень их влияния на сигнал.

Основная сложность заключается в том, что каждый из геометрических параметров в той или иной степени влияет на сигнал, так как изменение каждого из них по сути является изменением объема дефекта. Этот факт значительно усложняет задачу раздельного определения глубины, протяженности и, тем более, формы сечения дефекта, так как необходимо реализовывать отстройку от влияния не интересующих в данный момент параметров дефекта.

Однако в результате анализа данных было установлено, что по произведению фазы сигнала на его амплитуду можно однозначно оценить объем дефекта. С этой целью построена линейная регрессионная модель. Затем по фазе сигнала (коррелированной с глубиной дефекта и менее всего подверженной влиянию других геометрических параметров) можно определить

глубину дефекта, обучив для решения этой задачи искусственную нейронную сеть (ИНС) [4]. С помощью ИНС удалось достичь лучшего результата в сравнении с регрессионной моделью и обеспечить отстройку от влияния формы на определение глубины.

Определение протяженности проточки осложняется тем, что наиболее коррелированный с ней признак – амплитуда сигнала, в значительной степени зависит и от глубины дефекта. Чтобы учесть это влияние, была обучена еще одна нейронная сеть, на вход которой, помимо признаков сигнала, подается определенная ранее глубина дефекта. Такая структура сети позволяет лучше отстроиться от взаимного влияния протяженности и глубины на амплитуду сигнала, а также учесть влияние формы дефекта на сигнал.

Теперь, когда известны объем, глубина и протяженность сигнала, с помощью простых расчетов можно сделать вывод о форме сечения дефекта, что может быть важной информацией при принятии решения о возможности дальнейшей эксплуатации объекта контроля. Однако точность оценки формы дефекта невысокая, так как напрямую зависит от погрешности определения глубины, протяженности и объема.

Таким образом, в работе реализовано численное моделирование процесса вихретокового контроля теплообменных труб методом конечных элементов, создана база сигналов, выявлены информативные признаки сигналов, проанализировано влияние геометрических параметров (глубины, протяженности, формы) на сигнал и предложен алгоритм для автоматизированной интерпретации сигналов.

В заключении нужно отметить, что надежное решение поставленной задачи при обеспечении низкой погрешности позволит в перспективе существенно улучшить качественные показатели контроля теплообменных труб парогенераторов и повысить точность интерпретации полученных сигналов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Song, S. J.** Model-based interpretation of experimental eddy current signals obtained from steam generator tubes by bobbin probe. / S. J. Song // Insight. – 2003. – № 5.
2. **Герасимов, В. Г.** Неразрушающий контроль: в 5 кн. Электромагнитный контроль: практ. пособие / В. Г. Герасимов, А. Д. Покровский, В. В. Сухоруков. – М. : Высшая школа, 1992. – Кн. 3.
3. **Лунин, В. П.** Метод конечных элементов в задачах прикладной электротехники / В. П. Лунин. – М. : Изд-во МЭИ, 1996.
4. **Уоссермен, Ф.** Нейрокомпьютерная техника: теория и практика / Ф. Уоссермен. – 1992.

E-mail: barabanov.pa@gmail.com

диагностических параметров различных характеристик флуктуирующего, при работе трибообъекта электрического сопротивления, или электрической проводимости, среди которых существенное место занимают параметры микроконтактирования, непосредственно фиксирующие моменты разрушения смазочных пленок.

Указанные диагностические признаки, обладая рядом неоспоримых преимуществ (простота реализации, более высокая помехозащищенность, наличие монотонных функциональных зависимостей между электрическими признаками, с одной стороны, и триботехническими характеристиками, конструктивными параметрами деталей, смазочных материалов и режимами работы трибообъекта, с другой стороны, и т. п.), являются наиболее распространенными в практике триботехнических испытаний и диагностики и наиболее интенсивно развивающимися (по результатам патентного поиска – около 50 % от общего числа оригинальных технических решений по электрическим методам диагностирования).

В результате проведения патентных исследований, по обозначенной проблеме выявлены направления наиболее эффективного использования электрических методов получения информации об узлах трения, направления и задачи, решения которых уже проводятся с использованием электрических методов или есть данные о потенциальной возможности их решения электрическими методами. Выполненная аналитическая работа позволяет получить информационную базу данных для составления классификатора видов технического состояния узлов трения, образов технического состояния узлов трения и их признаков, а также номенклатуры диагностических параметров, посредством которых можно оценить соответствие действительного состояния объекта его образу.

Получение данного классификатора позволит разработать матрицу структурно-логических связей между факторами, определяющими работу узла трения (температура, статическая нагрузка, вибрация и удары, режимы смазывания, скоростные режимы, изменение фракционного состава смазочных материалов) и признаками его технического состояния (монотонное или скачкообразное изменение макро- и микрогеометрии контактирующих поверхностей, собственная вибрация и температура, толщина смазочного слоя, режим смазки, качество адгезии смазочного материала).

Работа выполнена в рамках Государственного задания 7.2668.2011.

E-mail: pms35vm@yandex.ru

Проведенный патентный поиск позволил установить общую тенденцию к изменению интенсивности работ в области усовершенствования методов и средств трибомониторинга и различных электрических методов, которые характеризуются некоторой периодичностью, соответствующей характеру развития экономики в государстве. Установлена следующая обобщенная классификация методов трибомониторинга: механические методы; тепловые методы; кинематические методы; виброакустические методы (вибродиагностические, шумодиагностические, акустической эмиссии); ультразвуковые методы; методы фотометрии и спектрометрии; электрические методы. Установлено, в частности, что наиболее интенсивно развивающимися методами являются механические, виброакустические и электрические методы, при этом среди электрических диагностических признаков наиболее информативными и универсальными являются электрическое сопротивление, трибо-ЭДС и термоЭДС, а также параметры микроконтактирования.

Определены наиболее эффективные направления применения электрических методов трибомониторинга и решаемые задачи.

1. Диагностирование триботехнических систем (фрикционного контакта, опор качения и скольжения; зубчатых передач, тормозных устройств и т.п.) в динамическом режиме на этапах входного контроля, проведения механосборочных работ при изготовлении, сервисного обслуживания и ремонта машин и механизмов:

– комплексная оценка состояния объекта в реальных условиях и режимах эксплуатации;

– контроль качества рабочих поверхностей, включая поиск локальных дефектов и оценку характеристик регулярных отклонений от правильной геометрической формы поверхностей;

– количественная оценка режима трения и вида смазки в триботехнической системе;

– получение исходной информации для прогнозирования технического состояния триботехнической системы;

– определение процесса технологической обкатки и приработки триботехнической системы.

2. Исследования, испытания и контроль характеристик материалов, поверхностных слоев и смазочных сред:

– оценка триботехнических характеристик материалов;

– оценка триботехнических характеристик смазочных сред;

– оценка триботехнических характеристик граничных слоев и смазочных плёнок.

Анализ различных электрических диагностических признаков применительно к реализации выбранных направлений, объектов и задач показывает, что разработку первого из обозначенных направлений наиболее целесообразно проводить на базе электропараметрических, в частности, электрорезистивных методов. Эти методы основываются на использовании в качестве

УДК 620.179.118.5

ДИСТАНЦИОННАЯ ИНТРОСКОПИЯ ПОЛЫХ ИЗДЕЛИЙ

О. Ю. БОНДАРЕВ

ПА «МЕГА»

Москва, Россия

Для протяженных изделий характерно многообразие полых элементов с ограниченным доступом к деградирующим зонам и областям. В решении задач повышения эффективности, надежности и эксплуатационной безопасности особое значение приобретает диагностика и дефектоскопия внутренних поверхностей. Методами и средствами дистанционной интроскопии создается возможность для наблюдателя «заглянуть внутрь» полости и приблизить отображение исследуемого участка для представления, обработки и документирования.

Магистральные и локальные трубопроводы представляют важнейшую роль в системе нефтегазовых и гидротранспортных комплексов транспортировки.

Как объекты интроскопии трубопроводы представляют собой протяженные длинномерные конструкции с прямолинейными, криволинейными и сложно-профильными участками. В эксплуатации они допускают, в определенных пределах, возможность пластической деформации или подвижки без нарушения целостности. Случайные нарушения прочности материала длинномеров приводят к появлению неоднородностей в однородной структуре поверхностей. Всякое появление неоднородных зон и участков связано с изменчивостью признаков и геометрических параметров и конструктивных элементов длинномеров.

Как технологические признаки зарождающихся отклонений (потенциальных дефектов), так и характер технологической информации различаются физической природой, физическими величинами и параметрами. Пространственно-временное выявление расположения и характера формирующихся информативных источников позволяет оперативно оценивать состояние поверхности. Случайно распределенный характер их усложняет ориентированный поиск и локализацию расположения границ информационных зон и участков. При этом весьма значимы особенности поверхностных отклонений, их диапазоны и экстремальные пределы, специфические различия в совокупном признаковом пространстве. Многофакторные локальные сети с разнообразным наложением (пересечением) признаков и корреляционные связи их с идентифицируемыми дефектами обуславливают некоторые ограничения в распределении уровней полезной информации и дезинформации.

Информационно-оптическая восприимчивость распределенных излучений позволяет выявить источники с весьма низким энергетическим уровнем. При этом информационное согласование физических эффектов проявления отклонений и принципов выявления неоднородностей более эффективно и

менее затратно в информационно-оптических преобразованиях. Более рациональными и перспективными являются способы и средства оптико-электронные, оптико-волоконные и комбинированные пневмооптические, в которых отображения реальных геометрических параметров поверхности лучше проявляются и выявляются.

Для дистанционной интроскопии характерно значительное удаление источника излучений, излучателя, транслятора, промежуточных преобразователей и приемников. Для ориентированного воздействия и помехозащищенного приема используются естественные или искусственные среды, оптимальные для воздействующих и взаимодействующих с поверхностью излучений. При этом отдельные элементы таких устройств выполняют функции излучателей и приемников излучений.

В современной оптико-волоконной дефектоскопии оптически прозрачные среды используются для каналирования, трансляции и промежуточных преобразований.

Оптическая и оптико-электронная интроскопия, как система визуализации изображений обеспечивает оперативность и быстроту восприятия и отображения «сиюминутных картинок» пространственно изменяющейся поверхности, «видимой» на удалении от потребителя. Такие способы и средства сделали интроскопию реальным зеркалом отображения фактического состояния и свойств внутренней поверхности в естественных пространственно-временных координатах. Таким путем более достоверно познается все разнообразие размеров и форм элементов изделий, их технологических различий в объеме и перспективе, в цвете и в движении.

При целенаправленном воздействии излучения на участок материальной поверхности физическая сущность аномальных отклонений проявляется в некотором абстрактном пространстве признаков, отражающих количественные и качественные характеристики этих отклонений. В процессе формирования первичной информации в пространстве признаков выделяется некоторая область существенных признаков, которая формализовано отображается в совокупности информативных параметров и представляется в виде информационного портрета неоднородной зоны поверхности. Часть значений параметров этого множества не содержит значимых сведений или содержит их в малом количестве, что позволяет исключить их из информационного портрета и таким путем уменьшить размерность пространства информативных признаков.

В структуре информационных преобразований важное значение имеет формирование информативного отображения неоднородной зоны поверхности. В информативном отображении неоднородностей фиксируются все элементы их проявляемости на участке поверхности и переносятся на светоприемник. Но если изображение двух элементов окажутся внутри одной ячейки светоприемника, определяющей его разрешающую способность, то они оба будут восприняты этой ячейкой и раздельного поэлементного восприятия изображений уже не получится. На разрешающую способность светоприемника влияет и яркость элементов наблюдаемой поверхности, контрастность

УДК 620.179.1.082.7
ИНФОРМАЦИОННЫЕ ПРИЗНАКИ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ
УЗЛОВ ТРЕНИЯ, ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ
Трибомониторинга

К. В. ПОДМАСТЕРЬЕВ, В. В. МАРКОВ
ФГБОУ ВПО «ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
УЧЕБНО-НАУЧНО-ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ КОМПЛЕКС»
Орёл, Россия

Широкий круг задач технического диагностирования, контроля и прогнозирования состояния узлов трения при их изготовлении, испытаниях, техническом обслуживании в процессе эксплуатации и ремонте связан с решением проблемы трибомониторинга. Процессы и явления в зонах трения деталей носят сложный и неоднозначный характер, что обуславливает сложность решения задачи их достоверной и адекватной оценки при контроле. Различными научными школами и производственными коллективами в настоящее время проводятся исследования по усовершенствованию существующих и поиску новых принципов выявления информации о состоянии узлов трения, алгоритмов обработки измерительных сигналов с целью выделения требуемой информации об объекте, а также по разработке реализующих эти принципы и алгоритмы средств трибомониторинга. Проводятся такие работы и в Госуниверситете – УНПК.

Направление работ, выполняемых на современном этапе, в рамках Государственного задания 7.2668.2011 связано с разработкой теории и принципов интеллектуализации электрических методов трибомониторинга узлов трения. В рамках выполнения этого проекта, на этапе аналитического обзора по проблеме оценки технического состояния узлов трения, на основе анализа научно-технических, нормативных, законодательных, патентных и пр. источников проведен патентный поиск глубиной 30 лет.

Целью поиска являлось: обобщение, анализ, систематизация патентных источников по методам неразрушающего контроля и диагностирования узлов трения; анализ и классификация информационных признаков (измеряемых физических величин), используемых при контроле и диагностировании; анализ и классификация электрических информационных признаков, используемых при контроле и диагностировании; анализ и классификация электрических диагностических параметров (характеристик информационных признаков), используемых при контроле и диагностировании; исследование технического уровня и выявление тенденций развития электрических методов и средств трибомониторинга; анализ патентно-лицензионной ситуации и деятельности научных школ и технических коллективов, работающих в области электрических методов трибомониторинга и трибодиагностики.

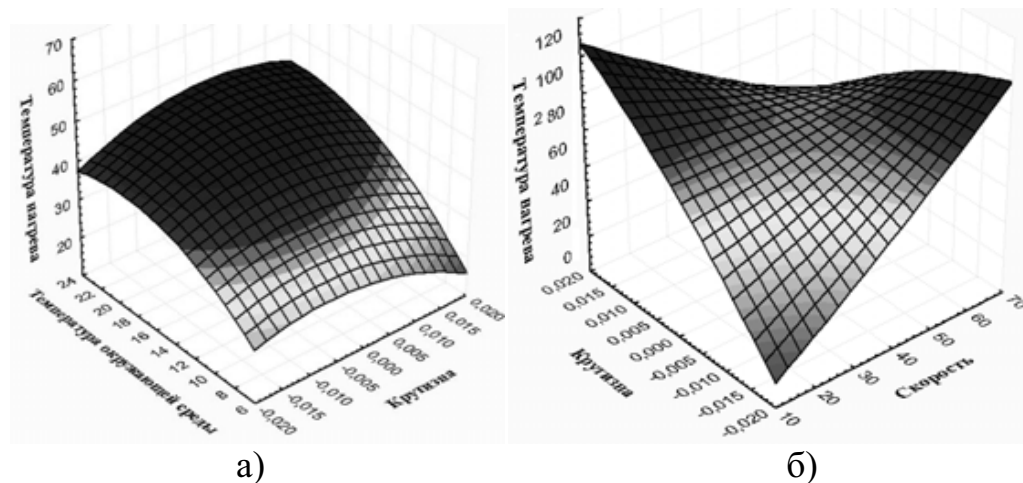


Рис. 1. Области влияния: а – крутизны и температуры окружающей среды на температуру нагрева шин; б – крутизны и скорости движения на температуру нагрева шин

Установлено, что максимальный нагрев деталей происходит при увеличении в положительную сторону крутизны профиля пути и маленькой скорости движения поезда, что связано с увеличением силы тока (рис. 1). Однако, из-за тепловой инерции деталей и чередования участков подъема, спуска и равнинного профиля пути пик нагрева приходится как раз на момент времени, когда локомотив уже сбрасывает максимальную силу тока. Выявлена зависимость возрастания температуры деталей при больших отрицательных значениях крутизны (рекуперация) и большой скорости, т.к. при увеличении скорости вращения двигателя в режиме генератора возрастает и сила тока, отдаваемая обратно в сеть.

В целом при анализе полученных данных, можно сделать вывод о том, что существует взаимосвязь между температурой нагрева, с одной стороны; силой тока, крутизной и температурой окружающей среды, с другой стороны. Влияние скорости движения состава на температуру нагрева деталей мало значимо, однако, исключать ее из рассмотрения нельзя, так как скорость оказывает влияние на другие факторы (силу тока в режиме тяги и рекуперации, напряжение). Используя полученные зависимости можно прогнозировать работу электрооборудования электровозов на сложных участках движения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Орлов, А. И. Прикладная статистика: учебник / А. И. Орлов. – М. : Издательство «Экзамен», 2004. – 656 с.
2. Дрейпер, Н. Прикладной регрессионный анализ. Множественная регрессия / Н. Дрейпер, Г. Смит. – М. : «Диалектика», 2007. – С. 912.

E-mail: pereligin_vn@irgups.ru

между ними и окружающим фоном, ориентация приемника и другие факторы. При восприятии важно иметь обзор всего отображения, чтобы обеспечить соответствующую изобразительность. В черно-белом представлении острота восприятия падает по мере уменьшения контрастности, а в цветном – при изменении насыщенности цвета. Однако при снижении яркости или уменьшении размеров изображения снижается цветоощущение и воспринимается только яркость элементов.

Зрительно наблюдатель хорошо воспринимает равенство яркостей оптических изображений, но не их отношение. Для эффективной оценки сравниваемых отображений они должны быть сближены. Лучше если они будут соприкасаться или накладываться. Для комфортного восприятия, особенно в дистанционной интроскопии необходимо:

- создать соприкасающиеся оптические изображения, яркость которых пропорциональна сравниваемым информативным излучениям;
- регулировать (управлять) сравниваемые излучения в известном (или случайном) отношении до их уравнения.

Для более совершенных технологий дефектоскопии требуется излучатель с известными параметрами (то есть с определенными интенсивностями и спектрами) опорных излучений.

В формализованном отображении состояний и свойств дефектоскопируемого изделия определяющее значение имеют информационно-физические преобразования, посредством которых абстрагируется и дистанцируется первичная информация. В структуре информационно-энергетических преобразований для всех элементов протяженной поверхности технологическая сторона должна адекватно отражаться в сопутствующей ей информационной. То есть как для эксплуатируемого изделия, так и для информационного сопровождения характерно определенное распределение и сосредоточение в пространственно-временных координатах физических и информационных операций.

В проявляемости аномальных отклонений и их обнаруживаемости заложена основа формирования обратной связи в системе интроскопии. Но для этого система должна выявить и локализовать источник информации о неоднородности, формируемый этой «анормальностью».

В способах и средствах интроскопии, в единстве физико-технических и спектрально-энергетических преобразований проявляется эффективность всей системы, объединяющей разнообразные операции и элементы. Структура пространственно-временного согласования и выделения элементарных лучистых потоков воздействующего, информативного излучений с соответствующей селективной направленностью взаимодействий, разнообразных схемных реализаций обеспечивает оптическим и комбинированным методам перспективу широкого применения в локальных связях и информационно-преобразовательных операциях. Переход от традиционных схем преобразований на комбинированные обеспечивает повышенную мобильность, технологичность и оперативность интроскопии.

ПРИМЕНЕНИЕ ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННЫХ
СИСТЕМ ДЛЯ ПОИСКА МАЛОРАЗМЕРНЫХ
МАЛОКОНТРАСТНЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ ДЕФЕКТОВ

Б. Т. БУДАИ, Б. Т. ПОРОДНОВ, И. В. МЯКУТИНА, Н. В. КАСАТКИН,
Е. Ф. ТОВКАЧ
ФГАОУ ВПО «УРАЛЬСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
им. Б.Н. Ельцина»
Екатеринбург, Россия

В настоящее время все более актуально заблаговременное обнаружение техногенных катастроф, которые вызывают такие макродефекты, как разрывы нефте- и газопроводов, прорыв плотин, обрывы линий электропередач, коммуникационных линий связи и др. Для заблаговременного обнаружения таких катастроф все более широко применяют теле- и тепловизионные оптико-электронные системы (ОЭС), располагаемые на борту вертолетов, беспилотных летательных аппаратов, наземной и надводной техники [1]. Кроме того, становится все более актуальным автоматический поиск дефектов листового проката в реальных условиях запыленности и вибраций, когда размеры обнаруживаемых дефектов листового проката сопоставимы с дифракционными ограничениями оптического тракта и др. Эффективное функционирование ОЭС в этих условиях также сопряжено с необходимостью стабилизации поля зрения, оптимизации оптического тракта [2]. При этом, казалось бы, столь разные условия функционирования ОЭС приводят к однотипным задачам улучшения качества изображений в ОЭС.

При этом нет компактной эффективной методики выбора параметров ОЭС, обеспечивающей наилучшее качество наблюдения малоразмерных малоконтрастных деталей изображения, даже при сравнительно большом отношении сигнал/шум. В этой ситуации одни разработчики пытаются повысить контраст мелких деталей изображения путем повышения точности стабилизации линии визирования, другие борются с абберацией, третьи совершенствуют систему фокусировки и др.

Вышеназванные причины требуют создания обобщенных компактных критериев оценки правильности выбора путей повышения эффективности ОЭС. При этом и в РФ [3, с. 312], и за рубежом [4, с. 108–112] влияние внешних факторов, в первом приближении, учитывают, во-первых, в виде суммарного действия последовательности независимых линейных фильтров, определяющих импульсную характеристику (ИХ) $h_{\text{сум}}$.

формирующего фильтра; во-вторых, для простоты рассуждений переходят от анализа двумерного сигнала к анализу одномерного сигнала с ИХ

Влияние температуры окружающей среды на нагрев электроаппаратуры зависит от многих факторов: типа и вида электровоза, типа и вида мотор-вентилятора, целостности корпуса электровоза. Скорость движения не зависит непосредственно от силы тока, т.к. при увеличении скорости используются различные режимы ведения поезда (нагрузки электрооборудования), в том числе и режим ослабления поля для поддержания скорости и уменьшения силы тока. Поэтому, скорость не может напрямую влиять на нагрев оборудования электровоза.

Тепловой нагрев электрооборудования, как правило, определяется большим числом одновременно и совокупно действующих факторов. В связи с этим, возникает задача исследования зависимости температуры нагрева (зависимой переменной y) от нескольких объясняющих переменных (силы тока, скорости движения, температуры окружающей среды и т.д.) x_1, x_2, \dots, x_n . Эта задача решается с помощью множественного регрессионного анализа [2].

Обозначим i -е наблюдение переменной y_i , а объясняющие переменные - $x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{ip}$. Тогда модель множественной линейной регрессии можно представить в виде:

$$y_i = \beta_0 + \beta_1 x_{i1} + \beta_2 x_{i2} + \dots + \beta_p x_{ip} + \varepsilon_i,$$

где $i=1, 2, \dots, n$, а ε_i удовлетворяет основным предпосылкам регрессионного анализа.

Получено матричное уравнение вида

$$\begin{pmatrix} n & \sum x_i \\ \sum x_i & \sum x_i^2 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} b_0 \\ b_1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \sum y_i \\ \sum y_i x_i \end{pmatrix},$$

откуда непосредственно следует система нормальных уравнений для не сгруппированных данных.

Предложенная методика применена для оценки многофакторного влияния на температуру нагрева различных параметров. В качестве базовых деталей выбраны силовые шины, поскольку они обладают средним значением теплофизических параметров контролируемых деталей и дают наибольшее число отказов, связанных с перегревом.

Построены диаграммы рассеяния анализируемых значений, найденные по линейным и нелинейным уравнениям регрессии. По полученным уравнениям регрессии построены области влияния рассматриваемых параметров (силы тока, скорости, температуры окружающей среды, крутизны) на температуру нагрева электрооборудования. Ниже представлены наиболее важные для анализа и практического значения области (рис. 1).

УДК 681.518.5
 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЛИЯНИЯ ПАРАМЕТРОВ РАБОТЫ ЭЛЕКТРОВЗОВ
 НА ТЕМПЕРАТУРУ ЕГО ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ

В. Н. ПЕРЕЛЫГИН
 ФГБОУ ВПО «ИРКУТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
 ПУТЕЙ СООБЩЕНИЯ»
 Иркутск, Россия

Для проведения тепловой диагностики оборудования электровозов во время движения необходимо учитывать погрешности инфракрасного контроля и способы их устранения, конструктивные особенности электрооборудования и его теплофизические характеристики, а также нормативные значения теплового состояния. Для разработки рекомендаций по допустимым уровням температуры типовых агрегатов и электрического оборудования электровозов необходимо также провести анализ экспериментальных данных распределения температуры деталей во время движения и изучить термограммы характерных неисправностей электрического и механического оборудования.

Лабораторией «Техническая диагностика» ИрГУПС проведен большой объем экспериментальных исследований по определению температурных полей электрического оборудования электровозов при движении в составе поездов грузоподъемностью около 6000 тонн на горном участке движения между станциями "Большой Луг" – "Слюдянка" Восточно-Сибирской железной дороги ОАО "РЖД". Путем анализа термоизображений получены массивы данных температуры таких деталей электровозов переменного тока ВЛ80р и ВЛ85 как: контакторы, быстродействующие переключатели, разъединители, низковольтные вставки и трансформаторы, реле, резисторы, выпрямительно-инверторные преобразователи (ВИП), выпрямительные установки возбуждения, силовые шины, шунты, кабели и их контактные соединения.

Обработка данных ряда поездок показала, что при движении на сложном, горном участке железной дороги температура некоторых деталей перечисленного выше оборудования электровозов, была близка или даже превышала предельно допустимые значения (25 % контактов силовых шин, 17 % ВИП).

Для определения зависимости температуры нагрева типового оборудования электровозов от температуры окружающей среды, профиля пути и силы тока использован метод регрессионного анализа [1]. Полученные данные подтверждают наличие зависимостей между искомыми параметрами, причем зависимость температуры нагрева от силы тока и от профиля пути имеет максимальные значения.

$h_{\text{сум}}(x-\tau)$. При этом сигнал на выходе тракта распространения сигнала $U_{\text{вых}}(D, x)$ представляют в виде свертки входного сигнала $U_{\text{вх}}(\tau)$ с ИХ

$$U_{\text{вых}}(D, x) = \int_{-\infty}^{\infty} U_{\text{вх}}(\tau) \cdot h_{\text{сум}}(D, x - \tau) \cdot d\tau, \quad (1)$$

а ИХ $h_{\text{сум}}(D, x - \tau)$ формирующего фильтра представляют в виде

$$h_{\text{сум}}(D, x) = K_0(D) \cdot h_{\text{см}}(x), \quad (2)$$

где $K_0(D)$ – коэффициент, определяемый законом Буггера [3, с. 74], $h_{\text{см}}(x)$ – ИХ, определяемая «смазом» изображения.

Наиболее информативны мелкие детали изображения, которые могут оказаться наиболее «смазаны». Поэтому в дальнейшем будем анализировать лишь те детали сигнала изображения (1), которые могут быть наиболее «смазаны». Тогда выражение (1) преобразуется к виду

$$U_{\text{вых}}^*(x) = \int_{-\infty}^{\infty} U_{\text{вх}}(\tau) \cdot h_{\text{см}}(x - \tau) \cdot d\tau. \quad (3)$$

Для анализа ИХ $h_{\text{см}}(x - \tau)$ в (3) вследствие центральной предельной теоремы теории вероятностей в случае двух ИХ $h_i(\tau)$ ИХ $h_{\text{см}}(x)$ удобно представить

$$h_{\text{см}}(x) = \int_{-\infty}^{\infty} h_1(x - \tau) \cdot h_2(\tau) \cdot d\tau, \quad (4)$$

при этом ИХ $h_i(x)$ эквивалентного i -го фильтра со среднеквадратическим отклонением (СКО) σ_i представляют в гауссовоподобном виде

$$h_i(x) \approx \frac{1}{\sqrt{2 \cdot \pi \cdot \sigma_i}} \cdot \exp\left(-\frac{x^2}{2 \cdot \sigma_i^2}\right). \quad (5)$$

С учетом выражения (5) ИХ (4) в случае произвольного количества формирующих фильтров может быть представлена в виде

$$h_{\text{см}}(x) \approx \frac{1}{\sqrt{2 \cdot \pi \cdot \sigma_{\text{см}}}} \cdot \exp\left(-\frac{x^2}{2 \cdot \sigma_{\text{см}}^2}\right), \quad (6)$$

причем с учетом [2, с. 294–298] СКО ИХ (6) можно представить

$$\sigma_{\text{см}} \approx \sqrt{\sigma_{\text{пр}}^2 + \sigma_{\text{диф}}^2 + \sigma_{\text{расф}}^2 + \sigma_{\text{абб}}^2 + \sigma_{\text{в.с}}^2 + \sigma_{\text{турб}}^2 + \sigma_{\text{ст}}^2 + \dots}, \quad (7)$$

где $\sigma_{\text{пр}}^2, \sigma_{\text{диф}}^2, \sigma_{\text{расф}}^2, \sigma_{\text{абб}}^2, \sigma_{\text{в.с}}^2, \sigma_{\text{турб}}^2, \sigma_{\text{ст}}^2$ – дисперсии, обусловленные приемником, дифракцией оптики, а также расфокусировкой, абберацией, конечной полосою тракта распространения видеосигнала, турбулентностью атмосферы, ошибкой стабилизации и др.

«Смаз» изображения, обусловленный приемником, с учетом [2, с. 295]

$$\sigma_{np} \approx \frac{l_{np}}{\sqrt{12} \cdot F}, \quad (8)$$

определяется размером элемента приемника l_{np} и фокусным расстоянием F . Поэтому он неизбежен. Также неизбежен и «смаз», обусловленный дифракцией оптики, так как он определяется средней длиной волны λ_{cp} используемого диапазона длин волн и диаметром объектива d ОЭС

$$\sigma_{диф} = C_{диф} \cdot \frac{\lambda_{cp}}{d}, \quad (9)$$

где $C_{диф}$ – коэффициент пропорциональности, обычно выбирается $C_{диф} \sim 1$ [3, с. 93], [4, с. 108–112], [5, с. 117–119].

Другие составляющие СКО (7), приводящие к «смазу» изображения в ОЭС, могут быть уменьшены по критерию малости влияния на «смаз» изображения. Если предположить, что остальные параметры СКО (7) пренебрежимо малы, то для типовой прямоугольной формы характерной детали изображения размером $l_{об}$, с учетом выражения (3) и параметров (8), (9) ИХ (6) коэффициент передачи тракта распространения сигнала изображения по «смазу» можно представить

$$K_{см} \approx \frac{l_{об} / \sqrt{12} \cdot D}{\sqrt{\frac{l_{об}^2}{12 \cdot D^2} + \frac{l_{np}^2}{12 \cdot F^2} + C_{диф}^2 \cdot \frac{\lambda_{cp}^2}{d^2}}}. \quad (10)$$

Таким образом, получены компактные соотношения (7–10), позволяющие оценить влияние каждого параметра на качество изображения. Полученные решения подтверждены математическим моделированием и экспериментальными исследованиями.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Будаи, Б. Т.** Анализ возможности устранения дефектов ОЭС путем выбора параметров конструкции и внешних факторов ОЭС / Б. Т. Будаи [и др.] // Дефектоскопия. – 2012. – № 7.
2. **Будаи, Б. Т.** Разработка высокоточного экологически чистого метода определения толщины листового проката / Б. Т. Будаи [и др.] // Дефектоскопия. – 2012. – № 9.
3. **Якушенков, Ю. Г.** Теория и расчет оптико-электронных приборов / Ю. Г. Якушенков. – М. : Логос, 1999. – 480 с.
4. **Ллойд, Дж.** Тепловидение: пер. с англ. / Дж. Ллойд; под ред. А. И. Горячева. – М. : МИР, 1979. – 416 с.
5. **Матвеев, А. Н.** Оптика / А. Н. Матвеев. – М. : Высшая школа, 1985. – 351 с.

– «Б» и «желтый металл» – «Ж», используя установленные в РФ значения проб в соответствии с п. 8 Постановления Правительства Российской Федерации от 18.06.1999 г. N2643. При этом, в программе «Б» отражается сам факт того, что тестируемое изделие изготовлено из платинового, палладиевого, золотого или серебряного ювелирного сплава (надписи на дисплее – «Платина», «Белое золото», «Палладий», «Серебро > 800»). Серебряные сплавы, которые (согласно п. 10) не являются ювелирными отображаются на дисплее надписью «Серебро < 800». Сплавы «желтого» золота отображаются соответствующей надписью на дисплее, но обозначенное числовое значение, как уже было сказано ранее, показывает, что качество сплава, из которого изготовлено данное изделие, во всей совокупности соответствует качеству ювелирных сплавов определенной пробы. Числовое значение, появляющееся на дисплее прибора должно совпадать со значением пробы, обозначенной на оттиске Российского пробирного клейма на данном изделии. Для наиболее распространенных отечественных желтых сплавов 585 пробы разных цветовых оттенков на дисплее прибора может отражаться «Золото 585 ст.» (что отвечает сплавам, рекомендованным ГОСТ Р-51152-98 или близким им по составу и свойствам). Надпись «Золото 585 не ст.» отвечает сплавам той же пробы (например, турецким или итальянским), не указанным в таблице российского стандарта, но разрешенным этим стандартом к применению, если их химический состав согласован с органами Российской Государственной пробирной палаты.

В случае тестирования изделий из недрагоценных металлов на дисплее появляются надписи «Не драгметалл».

Если на дисплее появляется надпись "Нет в программе», то это свидетельствует о том, что:

- тестированию подвергнут сплав, не содержащий драгметалл;
- тестированию подвергся сплав ранее неизвестного состава, который не может быть идентифицирован прибором «ДеМон-Ю» с высокой достоверностью (в том числе сплав, не содержащий драгметаллы);
- тестированию подвергнуто изделие с покрытием из драгметалла, а не из монолитного ювелирного сплава.

Во всех этих случаях, а также при несовпадении цифры на дисплее прибора со значением пробы на оттиске пробирного клейма, необходимо провести дополнительное тестирование.

Современная техника постоянно совершенствуется. Ее роль в поиске и обнаружении предметов таможенных правонарушений, к которым относятся наркотические и взрывчатые вещества, оружие и боеприпасы, драгоценные металлы, радиоактивные вещества, постоянно возрастает.

Очень сложно, а порой и практически невозможно на глаз отличить современные подделки от подлинных ювелирных изделий.

Клеймо Государственной пробирной палаты не всегда является 100 % гарантией точного содержания благородных металлов в изделии. Клеймо могут подделать.

В настоящее время существует несколько способов определения проб драгоценных металлов. Технические средства таможенного контроля очень разнообразны – от простейшего досмотрового инструмента до рентгеновской техники, масс-спектрометрической и хроматографической аппаратуры.

Электрохимический детектор ДеМон-Ю представляет собой портативный электронный прибор для идентификации монет, изделий из драгоценных металлов и сплавов. Он позволяет производить неразрушающий экспресс-контроль ювелирных и иных металлических изделий по электрохимическому потенциалу поверхности материала. ДеМон-Ю запрограммирован для проверки сплавов золота и серебра, платины и палладия.

Прибор используется в оптовой и розничной торговле ювелирными, антикварными изделиями, в ломбардах для демонстрации качества ювелирных изделий, идентификации монет, слитков из драгоценных металлов, для быстрого обнаружения подделок, отличающихся от подлинных изделий по составу материала, в экспертно-криминалистических лабораториях, а также для экспресс-контроля металлов и сплавов в производстве.

В приборе реализован оригинальный электрохимический метод подтверждения пробы драгоценных металлов. Результаты измерения отображаются на дисплее прибора прямо в единицах пробы.

Состав прибора: электронный блок, зонд, блок питания, зажим типа «крокодил», резинка, баллон с электролитом запасной, фильтры бумажные, руководство по эксплуатации, футляр для хранения и переноски.

Измерительная схема детектора ДеМон-Ю основана на использовании трехэлектродной системы: одним электродом служит исследуемый образец, второй электрод (внутри зонда) используется для пропускания импульсов тока, а третий (также внутри зонда) – электрод сравнения, относительно которого проводятся измерения потенциала.

Точность получаемых результатов существенно зависит от состояния поверхности образца: наличия загрязнений, пленок окислов и т. п. Поэтому перед подключением образца к контактному устройству необходимо тщательно очистить его поверхность от следов грязи, жира и тому подобного в той ее части, где будут проводиться измерения. Для этого следует использовать резиновый ластик, входящий в комплект прибора. Прибор «ДеМон-Ю» отражает на дисплее результаты тестирования в программе «белый металл»

УДК 534.8:535.5

ОСОБЕННОСТИ ОПТИКО-АКУСТИЧЕСКОЙ ДИАГНОСТИКИ ОБЪЕМНЫХ ДЕФЕКТОВ МЕТАЛЛОВ

В. Г. ГУДЕЛЕВ, Г. В. КУЛАК, А. Г. МАТВЕЕВА
УО «МОЗЫРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ПЕДАГОГИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ им. И. П. Шамякина»
Мозырь, Беларусь

Оптико-акустические источники ультразвуковых (УЗ) волн имеют ряд преимуществ перед традиционными: отсутствие контакта со средой, возможность простого изменения геометрических параметров акустической антенны, диагностики объектов, движущихся с любой скоростью [1]. В настоящее время ведутся исследования особенностей рассеяния УЗ волн на поверхностных и объемных дефектах различной формы: сферических, цилиндрических, плоских (трещин) и др. [2, 3]. На рис. 1 представлена упрощенная схема возбуждения, рассеяния и приема объемных УЗ волн в твердом теле.

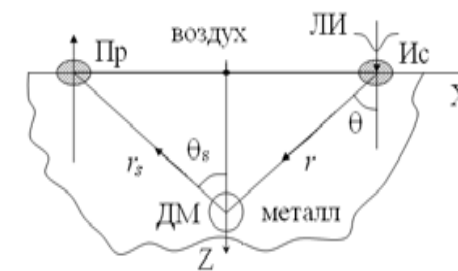


Рис. 1. Схема оптико-акустической диагностики объемного дефекта круглой формы (сфера, цилиндр): ЛИ – лазерный импульс; Ис – область источника; Пр – область приемника; ДМ – дефект материала; θ – угол падения; θ_s – угол рассеяния; r – расстояние от источника до дефекта; r_s – расстояние от дефекта до приемника

Источник УЗ волн имеет вид полосы прямоугольной формы или круглого сечения [4]. Лазерный импульс длительностью τ распространяется вдоль оси Z и вызывает давление P_f на поверхности твердого тела по механизму лазерной абляции [1]. Для расчетов ограничиваются дальней зоной дифракции на круглом или прямоугольном отверстии в области источника. При этом для исследования рассеяния на шаровых дефектах предпочтительнее использовать источники круглой формы, а при диагностике цилиндрических дефектов – источники прямоугольной формы. При этом образующая цилиндра параллельна одной из сторон прямоугольника возбуждения. Отметим, что при оптико-акустическом преобразовании длительность акустического импульса τ_a несколько превосходит длительность лазерного [1]. При интенсивностях света $I_0 \geq 10^7 - 10^8$ Вт/см² давление на поверхность металла составляет величину $P_f \sim 10-100$ МПа [1].

Импульс УЗ смещений имеет ширину полосы $\Delta\Omega \sim 1/\tau_a$ и центральную частоту $\Omega_0 \sim \Delta\Omega$. В режиме лазерного испарения на свободной поверхности металла образуется область площадью πR^2 для круглого источника и $a \times b$ для прямоугольного. Частотный спектр акустического импульса имеет гауссово распределение. Учитывается частотный и угловой спектр продольной $\tilde{U}_l(\Omega, \theta)$ и сдвиговой $\tilde{U}_s(\Omega, \theta)$ УЗ волны. С использованием метода функций Грина [1–3] найдены амплитуды рассеяния УЗ волн на шаровом (заполненном), сферическом (пустом) и соответствующем заполненном и пустом цилиндрическом дефекте.

Численные расчеты проводились для продольной и сдвиговой УЗ волны и материала, выполненного из стали (*Fe*). При этом полагалось, что $P_f = 10$ МПа, $R = 3$ мм, $a = 3$ мм, $b = 9$ мм; длина цилиндрического дефекта $l = 9$ мм (вдоль оси Y). В качестве заполнителя использовался магний (*Mn*).

На рис. 2 представлена временная форма ($\tilde{\tau} = t - r/v_l$) рассеянного акустического импульса на пустом (а) и заполненном (б) дефекте цилиндрической формы для углов падения и рассеяния $\theta = \theta_s = 10, 15$ и 20 град.

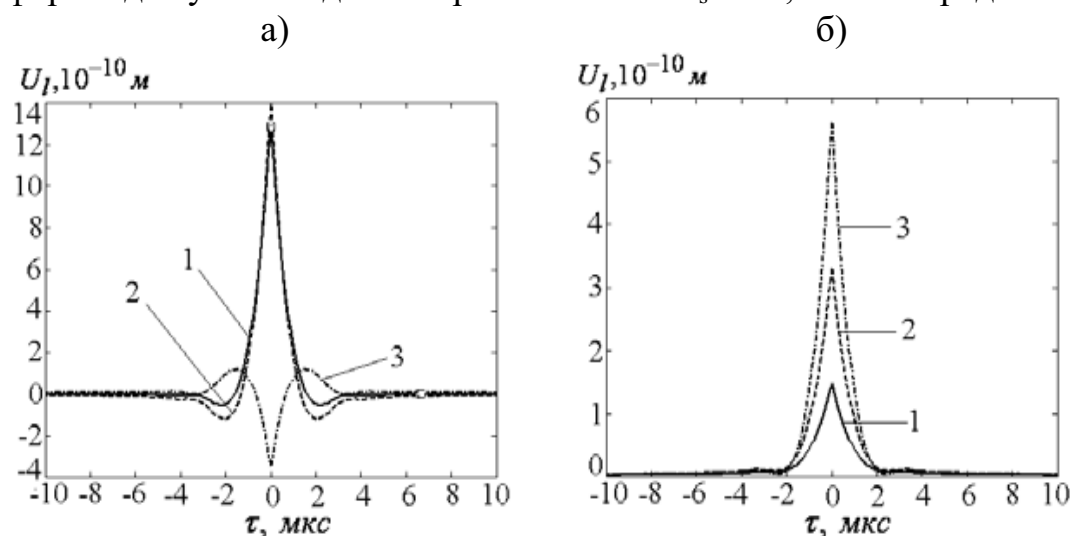


Рис. 2. Зависимость амплитуды рассеянного импульса U_l от времени $\tilde{\tau}$ для пустого (а) и заполненного (б) дефекта при различных углах θ : 1– 10° , 2– 15° , 3– 20° ($r = r_s = 10$ мм, $\theta = \theta_s$, $R = 3$ мм, $a = 3$ мм, $b = 9$ мм, $l = 9$ мм)

Из (рис. 2, а) следует, что при $\theta = 20^\circ$ импульс опрокидывается; для заполненного дефекта (рис. 2, б) с увеличением угла падения – амплитуда и длительность рассеянного импульса увеличивается.

Аналогичные зависимости для больших углов падения и рассеяния представлены на рис. 3.

УДК 339.545 (075.8)

ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИЙ МЕТОД И ПРИБОР КОНТРОЛЯ И ИДЕНТИФИКАЦИИ ДРАГОЦЕННЫХ МЕТАЛЛОВ И СПЛАВОВ

И. В. ПАВЛОВ, Г. И. КРАСОВСКАЯ
«НАЦИОНАЛЬНЫЙ МИНЕРАЛЬНО-СЫРЬЕВОЙ УНИВЕРСИТЕТ»
«ГОРНЫЙ»
Санкт-Петербург, Россия

В работе рассматривается методика неразрушающего контроля состава (пробы) драгоценных металлов и сплавов непосредственно в изделиях и новый прибор для реализации метода. Обосновывается применение метода при экспортно-импортных операциях с драгоценными металлами и сплавами. Рассматривается методика обучения студентов специальности «Приборостроение» работе с прибором.

В соответствии с Федеральным законом «О драгоценных металлах и драгоценных камнях» и в целях защиты прав потребителей изделий из драгоценных металлов, прав изготовителей этих изделий, а также в целях защиты интересов государства, Правительство Российской Федерации постановило, что все изготавливаемые на территории Российской Федерации ювелирные и другие бытовые изделия из драгоценных металлов должны соответствовать определенным пробам и быть заклеены государственным пробирным клеймом.

В Российской Федерации для ювелирных и других бытовых изделий из драгоценных металлов устанавливаются следующие пробы.

Допускается изготовление изделий из золота 583-й пробы по заказам граждан из принадлежащих им ювелирных и других бытовых изделий из золота этой пробы.

Опробование и клеймение изделий из драгоценных металлов осуществляется Российской государственной пробирной палатой при Министерстве финансов Российской Федерации, образованной в соответствии с постановлением Правительства Российской Федерации от 2 февраля 1998 г № 106.

Российская Федерация является крупнейшим экспортером разнообразной металлопродукции. Одновременно для решения ряда задач промышленности и товарооборота в Россию поставляются некоторые виды металлопродуктов, сплавов, в том числе ювелирных продуктов на основе драгоценных металлов.

Правоохранительными совместно с таможенными органами ежегодно пресекается огромное количество контрабандного вывоза и незаконных сделок с драгоценными металлами и камнями. Контрабанда золота в настоящее время превратилась в целую отрасль предпринимательства, в которой есть свои методы и порядки, свои группировки и боссы, свои прибыли и риски.

венной частоте каждая точка камня, кроме точек камня, находящихся на узловой линии или плоскости (узловая линия – линия на которой колебания отсутствуют), совершает колебательные движения. Тип колебаний определяется направлением колебательного движения отдельных точек и количеством и видом узловых линий. По направлению колебательного движения различают следующие основные виды: *изгибные* колебания (колебания отдельных точек происходят в плоскости, перпендикулярной основной плоскости драгоценного камня), *продольные* или *плоские* (колебания отдельных точек происходят в основной плоскости) и *крутильные* колебания (крутильные колебания отдельных точек). Обычно, при неразрушающем контроле стараются возбуждать и измерять наиболее низкие собственные частоты.

Измерения ЧСК и скорости звука C_1 производятся с помощью специализированных приборов или систем. Отечественные приборы типа «ЗВУК», разработанные для этой цели, называются – *измерителями частот собственных колебаний*. В приборах используются метод свободных колебаний или метод вынужденных колебаний (резонансный метод).

Современные приборы для измерения ЧСК позволяют практически мгновенно получать в цифровом виде значение ЧСК, а также значение скорости звука C_1 или значения других физико-механических и упругих характеристик материала, связанных со скоростью C_1 . Приборы работают в комплексе с компьютером, что позволяет автоматизировать процесс контроля, хранить и обрабатывать полученную информацию [3].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Красовская, Г. И.** Таможенный контроль драгметаллов, драгкамней и изделий из них / Г. И. Красовская, И. В. Павлов. – УМК. – СЗГУ, 2011. – 168 с.
2. **Потапов, А. И.** Методы и средства таможенного контроля драгоценных металлов, камней и изделий из них: учебно-справ. пособие / А. И. Потапов, И. В. Павлов. – СПб. : Изд-во политехн. ун-та, 2006. – 470 с.
3. **Московенко, И. Б.** «Звук -130» – резонансный измерительный прибор неразрушающего акустического контроля качества малогабаритных изделий: энциклопедический справочник / И. Б. Московенко // «Приборостроение и средства автоматизации» – 2008. – № 3. – С. 4–5.

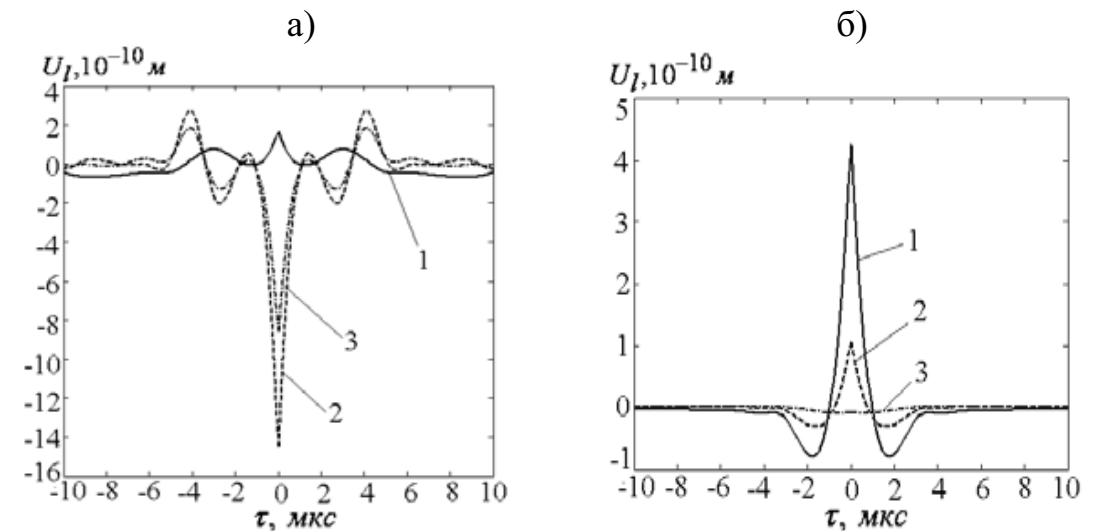


Рис. 3. Зависимость амплитуды рассеянного УЗ импульса U_l от $\tilde{\tau}$ для пустого (а) и заполненного (б) дефекта при различных углах θ : 1–65°, 2–75°, 3–85° ($r = r_s = 10$ мм, $\theta = \theta_s$, $R=3$ мм, $a = 3$ мм, $b = 9$ мм, $l = 9$ мм)

Из (рис. 3, а) следует, что при изменении угла падения и рассеяния форма рассеянного импульса существенно трансформируется вплоть до полного отсутствия выраженного центрального пика. Для заполненного дефекта отсутствие центрального пика соответствует углу $\theta = \theta_s = 85$ град. Аналогичные закономерности имеют место для дефектов сферической формы. С изменением размеров дефекта (радиуса и длины образующей цилиндра) амплитуда и длительность УЗ импульса существенно изменяется.

Полученные результаты показывают, что измерения амплитуды и длительности рассеянного УЗ импульса на дефекте круглой или цилиндрической формы позволяют определить их местоположение, размеры и тип заполнения. Использование падающих импульсов сдвиговых УЗ волн предпочтительнее, так как их амплитуды значительно выше, чем продольных.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Лямшев, Л. М.** Оптико-акустические источники звука / Л. М. Лямшев // УФН. – 1981. – Т. 135. – С. 636–669.
2. **Кайно, Г.** Акустические волны. Устройства, визуализация и аналоговая обработка сигналов / Г. Кайно. – М. : Мир, 1990. – 652 с.
3. **Hirose, S.** Ultrasonic Inversion for determining crack size in a solid / S. Hirose // J. of The Faculty of Environmental Science and Technology. – 1997. – V.2. – № 1. – P. 89–98.
4. **Буденков, Г. А.** Динамические задачи теории упругости / Г. А. Буденков, О. В. Недзвецкая. – М. : Физматлит, 2004. – 135 с.

УДК 629.7
ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПОВРЕЖДАЕМОСТИ
СИЛОВЫХ КОНСТРУКЦИЙ АВИАЦИОННОЙ ТЕХНИКИ

А. В. КОСИЦЫН, П. Ю. БРАНЦЕВИЧ
УО «ВОЕННАЯ АКАДЕМИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ»
УО «БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИНФОРМАТИКИ И РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ»
Минск, Беларусь

В данной работе предлагается методика экспериментальной оценки технического состояния силовых конструкций авиационной техники, основанная на анализе откликов сигналов на ударные воздействия. В качестве диагностических признаков рассматриваются модальные характеристики: собственные частоты и формы колебаний.

В качестве примера рассмотрены усталостные повреждения силовых каркасов гондол тормозных щитков (ТЩ) самолета Су-25. Актуальность проблемы обусловлена появлением усталостных трещин в процессе эксплуатации.

Отработка методики осуществлялась на снятой с самолета гондole ТЩ с использованием измерительно-вибрационного комплекса «Тембр». Динамическое воздействие производилось последовательно в 4 точках с регистрацией сигналов отклика 3-мя пьезометрическими вибрационными датчиками типа 4344 фирмы Brüel & Kjær массой 2,7 гр.

По форме вибрационные сигналы, регистрируемые при испытаниях конструкций методом динамического воздействия, представляют собой затухающие колебательные процессы, состоящие из нескольких частотных составляющих. Частотные реализации исправного и дефектного образцов представлены на рис. 1.

Как видно из спектров ускорений, собственные частоты практически не изменяются, а амплитуды изменяются значительно. Для исключения влияния силы удара на амплитуды сигнала отклика в различных точках приняты относительные значения амплитуд (амплитудные функции) по отношению к первой (базовой) точке. Изменения вибрационных параметров определялись по формулам:

для амплитуд

$$\Delta \bar{H}_r(B_n) = \left| \frac{\bar{H}_{0r}(B_n) - \bar{H}_r(B_n)}{\bar{H}_{0r}(B_n)} \right| \cdot 100\% ;$$

для частот

$$\Delta \omega_r = \left| \frac{\omega_{0r} - \omega_r}{\omega_{0r}} \right| \cdot 100\% ,$$

Определение подлинности камней сегодня невозможно «на глаз» и поэтому геммологи используют широкий спектр методов определения диагностических свойств камней, основанных на последних научных достижениях. Существует ряд методов для идентификации драгоценных камней [1, 2].

Для исследования драгоценных камней могут быть использованы и акустические методы.

Акустические методы основаны на зависимости упругих, в том числе акустических, параметров камней от таких их свойств, как прочность, твердость, пористость, состав и др.

В качестве акустических параметров, по которым судят о других свойствах камней, наиболее часто выбирают скорости распространения продольных упругих колебаний C и C_1 , реже – другие характеристики: скорость распространения поперечных упругих колебаний C_t , затухание упругих колебаний или комбинации этих параметров.

Предпочтительный выбор скоростей распространения продольных колебаний C и C_1 в качестве критериев, по которым определяют другие свойства материала, связан в основном с двумя обстоятельствами.

Во-первых, это – относительная простота и точность измерений скоростей C и C_1 . Современные акустические приборы позволяют производить прямой отсчет значений этих характеристик, в то время как для определения акустическим методом других упругих характеристик, например модуля Юнга, кроме акустических измерений необходимо произвести еще и определение плотности материала. Определение скоростей продольных колебаний менее трудоемко, чем определение скорости поперечных колебаний C_t , поскольку поперечные колебания не передаются через жидкость или воздух. Поэтому при измерении скоростей продольных колебаний акустический контакт датчиков колебаний с контролируемым изделием осуществляется либо с помощью контактной жидкости, либо при использовании достаточно низких частот при простом контакте датчика с изделием (сухой контакт), в то время как для измерения скорости распространения поперечных колебаний нужен жесткий контакт датчиков с изделием, т. е. необходимо приклеивать их к изделию.

Во-вторых, значения скоростей распространения упругих продольных колебаний C и C_1 чувствительны к составу драгоценного камня, особенно к наличию воздушных пор. Даже небольшое количество пор может значительно снижать прочностные характеристики изделий, их износостойкость и влиять на другие показатели. В то же время, пористость очень сильно влияет и на величины скоростей распространения колебаний, поскольку, в силу большого различия величин скоростей в твердой среде и в воздухе упругие колебания отражаются от границ раздела твердая среда – воздух, что приводит к значительному снижению скоростей при наличии в материале пор.

Каждый драгоценный камень имеет бесконечное множество частот, которые относятся к разным видам колебаний [3]. При колебаниях на собст-

УДК 339.545 (075.8)

МЕТОДЫ НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ ПОДЛИННОСТИ
ДРАГОЦЕННЫХ, ПОЛУДРАГОЦЕННЫХ И ПОДЕЛОЧНЫХ КАМНЕЙ

И. В. ПАВЛОВ, Г. И. КРАСОВСКАЯ
«НАЦИОНАЛЬНЫЙ МИНЕРАЛЬНО-СЫРЬЕВОЙ УНИВЕРСИТЕТ»
«ГОРНЫЙ»
Санкт-Петербург, Россия

Многомиллиардный оборот мирового рынка драгоценных камней, широко применяемых не только в ювелирном деле, но и в технике (абразивный и режущий алмазный инструмент, рубиновые активные среды лазеров и подшипники часовых механизмов, подложки микросхем и т.д.) привлекает огромное количество фальсификаторов. В этих условиях определить подлинность камней без современных физических методов контроля невозможно. В статье проводится анализ современных методов неразрушающего контроля драгоценных и поделочных камней и приборов для их реализации.

На современный ювелирный рынок помимо натуральных драгоценных камней поступают искусственные драгоценные камни нескольких видов.

К ним относятся:

- драгоценные камни синтезированные (выращенные);
- синтезированные кристаллы соединений группы редкоземельных элементов, которые в природе не встречаются, например, фианиты (имитация алмаза);
- имитации драгоценных камней из известного стекла, которые в основном применяются в бижутерии и легко, даже при визуальном осмотре или с использованием простейшего гомологического прибора – лупы с десятикратным увеличением, отличаются от драгоценных камней;
- дуплеты – составные драгоценные камни, склеенные из двух различных минералов.

В промышленных масштабах сейчас производятся многие синтетические минералы: алмазы, alexandrites, рубины, сапфиры и другие, драгоценные и полудрагоценные камни. Как имитация алмаза, помимо фианита, огромную популярность завоевала кубическая окись циркония, которая до сих пор успешно изготавливается и продается под различными торговыми названиями.

Существование подобного рода камней, а также появление их новых разновидностей требует большой осторожности при идентификации, чтобы избежать дорогостоящих ошибок.

Для изделий с драгоценными камнями, стоимость определяется не только количеством драгоценного металла, а в первую очередь, подлинностью и качеством камней.

где $\bar{H}_{0r}(B_n), \bar{H}_r(B_n)$ – амплитудные функции в n -й точке наблюдения исправного и дефектных силовых каркасов соответственно; ω_{0r}, ω_r – собственные частоты колебаний исправного и дефектных силовых каркасов соответственно; $r=1, 2, \dots, m$ – номера учитываемых собственных тонов колебаний.

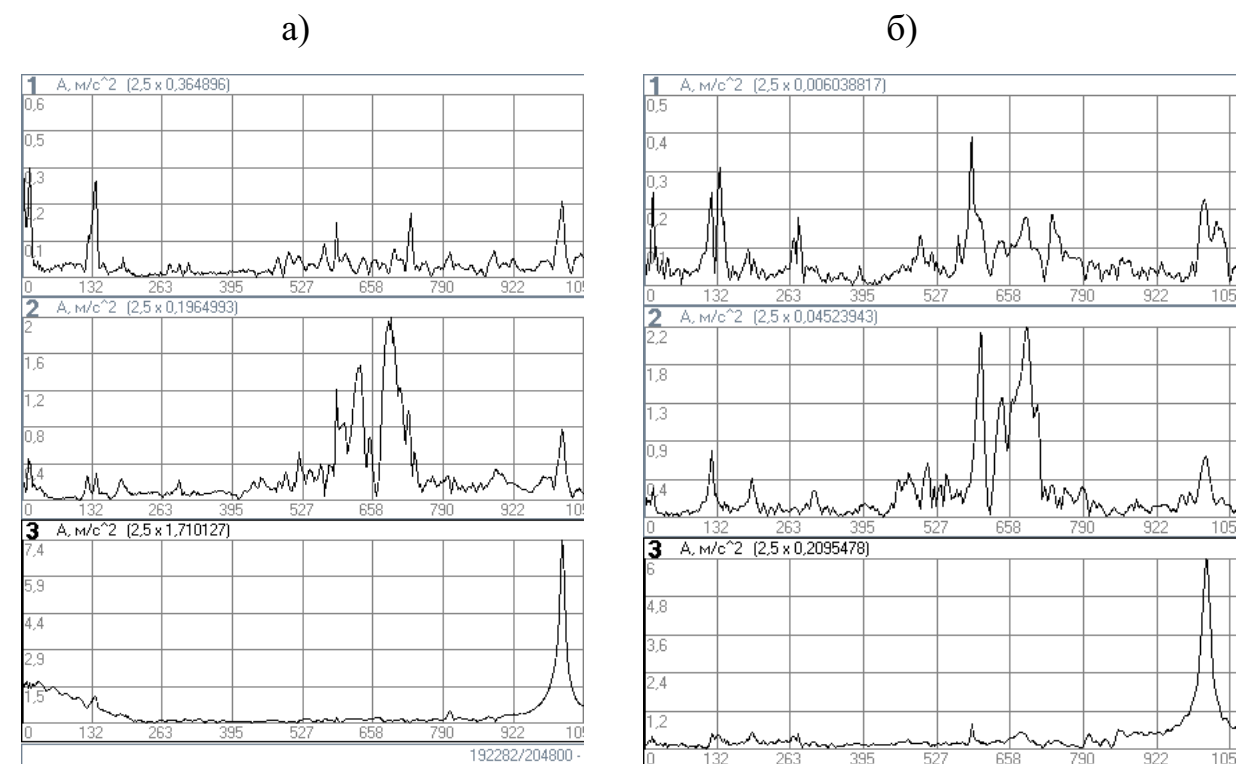


Рис. 1. Спектр виброускорений: а – исходный образец; б – образец с дефектом

Анализ рассчитанных параметров показал, что изменение собственных частот колебаний не превышает 8,5 %, в то время как изменение собственных форм колебаний достигает в некоторых случаях 116 %.

Экспериментальная вибродиагностика на объектах исследований.

Анализ технического состояния силовых элементов непосредственно на объектах авиационной техники проводился на 2 самолетах Су-25 (всего 4 гондолы). При этом самолеты имеют различную наработку и соответственно различные степени усталостных повреждений. Схема препарирования датчиков и мест нанесения ударов на объектах исследования представлена на рис. 2.

Наибольшее различие в спектрах сигналов было выявлено на правых силовых элементах. Внешний осмотр показал наличие различных повреждений (рис. 3).

Анализ полученных результатов показывает целесообразность использования в качестве диагностического признака амплитудных функций (собственных форм колебаний), т.к. они с появлением и развитием дефектов изменяются значительно быстрее, чем собственные частоты колебаний. Изменение собственных частот двух поврежденных конструкций не превысило

4,9 %, в то время как их амплитудные функции изменились значительно. Кроме того, амплитуды спектров сигналов сильно зависят от точек, в которых они определяются. Наибольшие изменения будут фиксироваться в датчиках, расположенных в непосредственной близости к местам расположения дефектов.

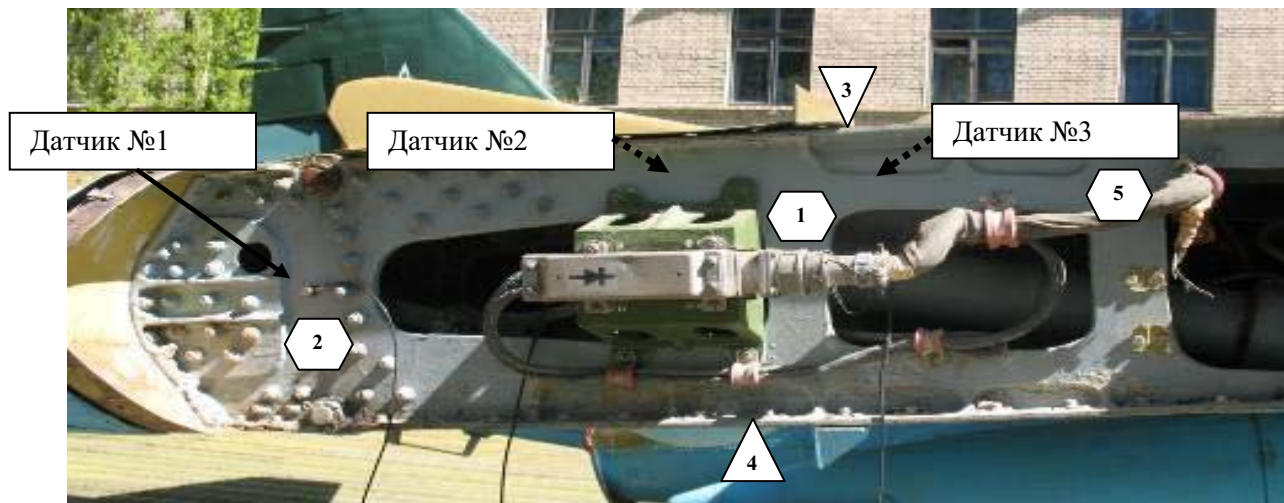


Рис. 2. Схема препарирования датчиков и мест нанесения удара

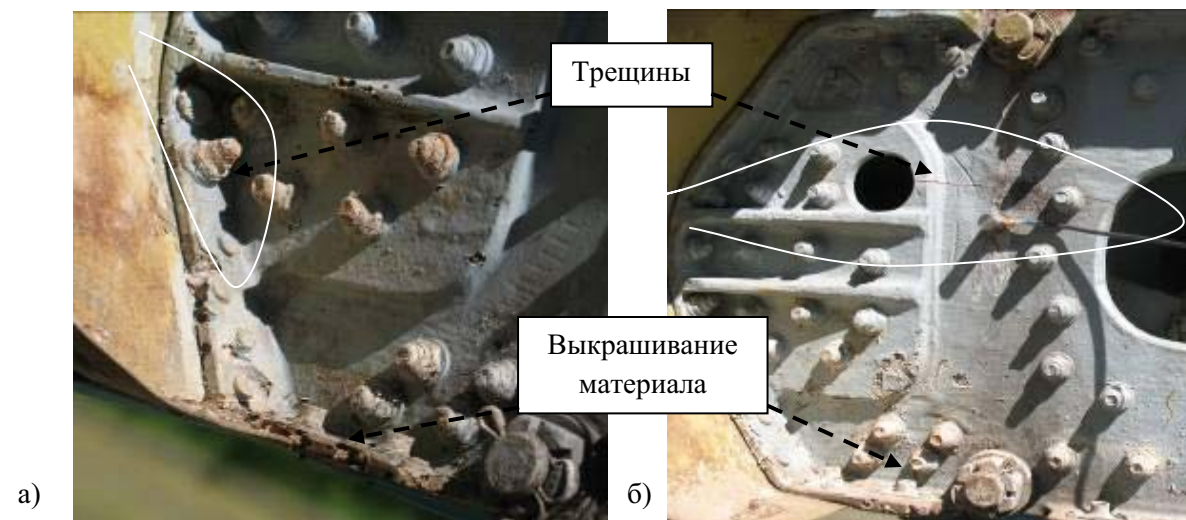


Рис. 3. Внешние повреждения каркаса: а – борт № 45; б – борт № 82

Имея исходную информацию об исправных объектах, можно судить о степени накопленных повреждений во времени. Критерием будет являться процентное изменение собственных форм колебаний, определенное для каждого конкретного случая с учетом степени важности испытываемого объекта и погрешностей виброизмерительной аппаратуры.

На ближайшие годы запланирована дальнейшая модернизация оборудования и расширение площадей Института nano- и биотехнологий, ожидается увеличение количества пользователей и объема предоставляемых услуг коллективного пользования, а также существенное расширение их перечня. За счет расширения видов деятельности планируется увеличение количества рабочих мест в Институте nano- и биотехнологий с 50 (в настоящее время) до 110 (к концу 2012 года).

В соответствии с прогнозом научно-технологического и промышленного развития реального сектора экономики Тверской области и соседних регионов уже в 2012-2014 годах ожидается существенное усиление интереса к услугам Института nano- и биотехнологий как со стороны исследовательских организаций, так и со стороны промышленных предприятий. Так, в 2011 году в Тверском регионе открылся новый катализаторный завод, на базе которого предполагается организовать выпуск современных высокоэффективных каталитических наносистем.

В связи со значительным изменением структуры отечественного наукоемкого сектора наметилась тенденция к организации межрегиональных взаимосвязей. На ближайшие два года поступили заявки на проведение исследований с использованием оборудования Института nano- и биотехнологий от московских и региональных вузов, научных институтов и коммерческих организаций. Крупные заказы на проведение совместных исследований получены из институтов РАН химического и биохимического профиля.

На базе структурных подразделений Института nano- и биотехнологий будет организован целый ряд исследовательских разработок, к выполнению которых будут привлечены ведущие ученые и специалисты, а также студенты и школьники из образовательных учреждений Тверского региона, а также Московской, Ярославской, Ивановской, Самарской и других областей Российской Федерации. Интеграция усилий ученых в этих регионах даст возможность создать прообраз единого научно-образовательного пространства, в рамках которого будут созданы специальные научные методики для проведения уникальных физико-химических и биотехнологических процессов и объектов.

- количественное определение валового содержания химических элементов;
- минерализация твердых и жидких образцов;
- разделение органических смесей на отдельные компоненты.

Специалистами ТвГТУ разработан комплекс методической документации для проведения физико-химических исследований различных образцов с использованием нормативно-технической документации предприятий-разработчиков оборудования и аналитических методик Росстандарта. В области исследования нанокompозитных материалов созданы методики по анализу гомогенных и гетерогенных каталитических наносистем с применением имеющегося уникального научного оборудования. Методики включают описание работы с оборудованием для выполнения целого ряда сложных исследований, в том числе:

- анализ химического состава (качественный и количественный анализ содержания элементов, их степеней окисления, принадлежность к функциональным группам, позиционирование электронной плотности на химическом окружении или на атоме химического элемента);
- изучение модификации поверхностей под воздействием различных сред, миграция элементов на поверхность и с поверхности в объем образца;
- изучение промотирования катализаторов другими веществами, влияние промотора на электронную структуру катализатора;
- анализ процессов ингибирования и старения катализаторов;
- кинетические исследования гетерогенных каталитических реакций;
- изучение влияния потока низкоэнергетических электронов на физико-химические свойства поверхностей.

С применением указанных методик на базе Института нано- и биотехнологий проведен целый ряд сложных исследований в области изучения наносистем и материалов, анализа гомогенных и гетерогенных каталитических наносистем.

В области разработки новых каталитически активных наноматериалов созданы катализаторы на основе металлополимерных нанокompозитов для проведения эффективного синтеза биологически активных веществ с высокой активностью и селективностью (98–99 %). В сфере энергосбережения разработаны новые топливные и энергоэффективные технологии получения, транспортировки и потребления энергии. Для решения экологических проблем, разработаны новые каталитические технологии по удалению поллютантов из сточных вод. За счет применения, разработанных металлополимерных нанокompозитных катализаторов, эффективность таких процессов повышена более чем в два раза (по сравнению с существующими технологиями).

Все созданные научно-технологические решения предложены к внедрению на базе промышленных предприятий Тверского региона.

УДК 620.179

ОБРАБОТКА ВИХРЕТОКОВЫХ СИГНАЛОВ ПРИ ОТБРАКОВКЕ ИЗДЕЛИЙ ЦИЛИНДРИЧЕСКОЙ ФОРМЫ

А. С. КРЮКОВ, В. В. ЧЕГОДАЕВ, А. Г. ЖДАНОВ, В. П. ЛУНИН
НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ «МЭИ»
Москва, Россия

В ряде производств требуется контроль неоднородности электропроводящих материалов многослойных цилиндрических изделий. Эта задача может быть решена средствами вихретоковой дефектоскопии [1, 2, 3]. Отбраковка изделий осуществляется по степени неоднородности материала одного или нескольких слоев.

В частности, неоднородность проводящего материала может определяться наличием дефектов в виде пустот. Причем форма таких дефектов не имеет значения, а важен его объем и местоположение в сечении изделия. С точки зрения протяженности дефекты можно разделить на локальные и распределенные, что необходимо для правильной настройки технологии производства. Доступ к объекту контроля (ОК), в большинстве случаев, возможен только с внешней стороны. Для выявления и оценки объема таких дефектов было предложено использовать многоэлементный накладной вихретоковый преобразователь [4].

В работе рассмотрен двухслойный цилиндрический ОК со следующими параметрами: внешний диаметр 7 мм, внешний слой – циркониевая оболочка толщиной 0,5 мм, внутреннее наполнение – силумин. Для ОК была выбрана схема контроля, состоящая из четырех накладных дифференциальных вихретоковых преобразователей (ВТП), расположенных на окружности (рис. 1), плоскость которой ортогональна оси контролируемого объекта. Оси преобразователей ориентированы нормально к поверхности ОК. Суммарная зона контроля всех ВТП равна длине окружности, образующей поверхность ОК.

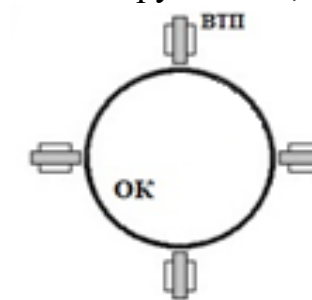


Рис. 1. Объект контроля с многоэлементным преобразователем

Последовательно возбуждая и опрашивая все преобразователи, можно сделать вывод о местоположении дефекта в сечении ОК и оценить его объем. Объем дефекта определяется амплитудой сигнала от вихретокового пре-

образователя. Сигнал ВТП зависит от взаимного расположения дефекта и преобразователя.

В экспериментах локальный дефект имитировался «лыской» с нулевой электрической проводимостью (рис. 2), где φ – угол отклонения дефекта от вертикальной оси (оси верхнего преобразователя). Когда $\varphi = 0$, задача отбраковки не представляет сложности. Но в общем случае, дефект располагается в промежутке между преобразователями ($0^\circ < \varphi < 90^\circ$), тогда амплитуды сигналов ближайших ВТП уменьшаются и могут быть меньше значения, определяемого критерием отбраковки изделий.

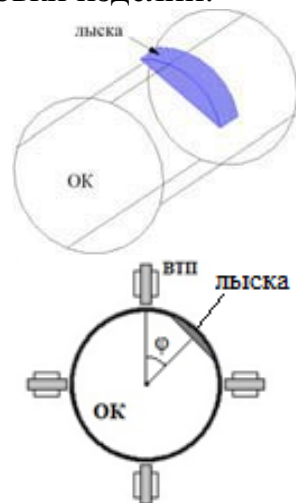


Рис. 2. Исследуемый дефект в виде выборки (лыски)

Поэтому целью работы было построение алгоритма пересчета сигналов двух соседних накладных ВТП от локального дефекта типа лыски при $0^\circ < \varphi < 90^\circ$ в сигнал ВТП от дефекта при $\varphi = 0$.

Для решения поставленной задачи была собрана установка для контроля цилиндрических изделий накладными ВТП. Она состоит: манипулятор, блок преобразователей, вихретоковая испытательная система *ElotestPL-500*, компьютер и настроечный образец, который содержал три лыски, имитирующие дефекты различных объемов. Изменение объема дефекта задавалось увеличением его осевой протяженности при неизменных других параметрах.

Вихретоковые данные были получены при многократном пропускании настроечного образца через блок ВТП. Каждое следующее положение образца отличалось от предыдущего углом ориентации дефектов относительно осей ВТП, при этом угол φ варьировался от 0° до 350° с шагом $\Delta\varphi = 10^\circ$. Для каждой пары соседних ВТП были получены графики зависимости амплитуды сигнала от угла φ для трех различных лысок, которые можно аппроксимировать функцией вида

$$U(\varphi) = \frac{a_0}{a_1 + \exp(a_2 \cdot \varphi)}, \quad (1)$$

где U – напряжение преобразователя; a_0 , a_1 , a_2 – коэффициенты аппроксимации.

УДК 54.07:542

РАЗРАБОТКА НАУЧНО-МЕТОДИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ
ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ЦЕНТРА КОЛЛЕКТИВНОГО ПОЛЬЗОВАНИЯ
СЛОЖНЫМ НАУЧНЫМ ОБОРУДОВАНИЕМ

В. П. МОЛЧАНОВ, Е. В. КУМПАНИЧ, Ю. Ю. КОСИВЦОВ
ФГБОУ ВПО «ТВЕРСКОЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ»
Тверь, Россия

При поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации в 2008 году на базе Института нано- и биотехнологий Тверского государственного технического университета (ТвГТУ) создан единственный в Тверском регионе центр коллективного пользования сложным оборудованием физико-химического и биотехнологического назначения. Для организации центра, Институт нано- и биотехнологий был оснащен уникальным научным оборудованием, общая стоимость которого на январь 2012 года составляет более 100 миллионов рублей.

В состав Института нано- и биотехнологий входит контрольно-аналитическая лаборатория "Экология – сточные воды" (ЭКОС), аккредитованная системой Росстандарта (аттестат аккредитации № РОСС RU.0001.512880). Для аттестации и аккредитации контрольно-аналитической лаборатории ЭКОС в Системе аккредитации аналитических лабораторий (центров) Российской Федерации разработана необходимая документация согласно требованиям СААЛ. Основная область аккредитации лаборатории – осуществление деятельности по определению химического состава природных и сточных вод с целью контроля за содержанием загрязняющих веществ в природных и сточных водах.

Предоставление услуг коллективного пользования регламентируется решением Совета ректоров Тверской области, а также внутренними положениями Тверского государственного технического университета: "Положением об Институте нано- и биотехнологий ТвГТУ" и "Положением о Региональном научно-образовательном комплексе ТвГТУ". В перечень основных оказываемых услуг входят:

- анализ концентрации элементов в жидких пробах;
- анализ удельной поверхности и пористости твердых образцов;
- исследование инфракрасных спектров;
- исследование процессов органического синтеза в условиях повышенных температур и давлений;
- качественный и количественный анализ поверхности твердых образцов;
- качественный и количественный анализ состава органических веществ;

Для уменьшения стоимости и упрощения схемы конечного устройства оцифровка аналогового сигнала происходит с помощью встроенного в контроллер АЦП. Для этих целей был выбран контроллер ATmega16 фирмы Atmel Inc. Данный контроллер содержит восемь 10-битных АЦП, что позволяет достичь точности измерений 0,1 °С.

Для передачи и последующей обработки полученных данных с помощью специально разработанного программного обеспечения, микропроцессорное устройство подключается к персональному компьютеру через интерфейс RS-232 (который в данном микроконтроллере реализован аппаратно). Для преобразования сигналов ТТЛ-уровня к уровню стандарта RS232 используется микросхема MAX232 фирмы Texas Instruments Inc.

Питание элементов устройства осуществляется от однополярного напряжения +5 В, полученного с помощью стабилизатора KP142EH5A.

Для обмена данными между устройством и персональным компьютером была разработана программа LIS, которая иницирует опрос микропроцессорным устройством подключённых к нему датчиков температуры, получает и проверяет передаваемые данные. Временной интервал опроса выбирается пользователем перед запуском эксперимента и может составлять от 0,1 до 50 секунд. На основании принятых данных, получается таблица значений, необходимых для построения графиков изменения температуры от времени. Программа позволяет одновременно отображать графики со всех восьми каналов. Имеется возможность экспортировать таблицу данных в MS Excel, а графики копировать в буфер обмена.

Программа позволяет калибровать датчики по двум значениям температуры.

Для исследования энергетических процессов, протекающих в термоста-тах биологических, была осуществлена серия экспериментов с различными режимами и условиями работы. В качестве исследуемого образца был использован термостат биологический ТБ-1-220-2.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **ГОСТ 22030-83.** Сперма быков замороженная. Технические условия; Введ. 01.01.85 – М.: Изд-во стандартов, 1984. – 8 с.
2. **ГОСТ 27777-88.** Сперма быков замороженная. Методы биологических исследований; Введ. 01.07.89. – М.: Изд-во стандартов, 1988. – 8 с.

E-mail: amois2001@rambler.ru

Затем были исследованы зависимости коэффициентов a_0, a_1, a_2 от величины $U_{max}=U(0)$ для дефектов, участвующих в эксперименте, и получены соответствующие нелинейные аппроксимации для каждой пары соседних ВТП:

$$a_0(U_{max}) = b0_0 + b0_1 U_{max}^4, \quad (2)$$

$$a_1(U_{max}) = b1_0 + b1_1 U_{max}^4, \quad (3)$$

$$a_2(U_{max}) = b2_0 + b2_1 U_{max}^4. \quad (4)$$

Подстановкой коэффициентов(2), (3), (4) в выражение (1) была получена функция, зависящая от двух переменных:

$$U(\varphi, U_{max}) = \frac{b0_0 + b0_1 \cdot U_{max}^4}{b1_0 + b1_1 \cdot U_{max}^4 + \exp[(b2_0 + b2_1 \cdot U_{max}^4) \cdot \varphi]}. \quad (5)$$

Функцией (5) может быть описана зависимость амплитуды сигнала от угла φ для любого локального дефекта типа лыски для конкретной пары соседних вихретоковых преобразователей.

Алгоритм анализа сигналов следующий. Пусть для определения годности ОК задано пороговое значение напряжения U_{lev} . Входными параметрами алгоритма являются два значения амплитуды сигналов A_1 и A_2 ($A_1 \geq A_2$), получение от соседних ВТП при сканировании ОК. Тогда анализ входных данных производится следующим образом:

- 1) если $A_1 > U_{lev}$, то объект контроля бракуется;
- 2) если условие пункта 1 не выполнено, то определяются значения U_{max} и φ с учетом A_1 и A_2 . U_{max} определяется при условии, что сумма φ при A_1 и φ при A_2 равна 90° с заданной погрешностью;
- 3) полученное значение U_{max} сравнивается с заданным пороговым значением U_{lev} . Если $U_{max} \geq U_{lev}$, то объект контроля признается бракованным. Если $U_{max} < U_{lev}$, то объект контроля признается годным к эксплуатации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Бакунов, А. С.** Вихретоковый контроль накладными преобразователями / А. С. Бакунов, В. Г. Герасимов, Ю. Я. Останин. – М., 1985.
2. **Герасимов, В. Г.** Неразрушающий контроль: кн. 3. Электромагнитный метод. / В. Г. Герасимов, А. Д. Покровский, В. В. Сухоруков. – М., 1992.
3. **Герасимов, В. Г.** Методы и приборы электромагнитного контроля / В. Г. Герасимов, В. В. Клюев, А. Д. Покровский; под ред. В. Е. Шатерникова. – М.: Издательский дом «Спектр», 2010.
4. **Лунин, В. П.** Проходной многоэлементный вихретоковый преобразователь / В. П. Лунин, А. Д. Покровский, В. В. Чегодаев // Современные методы и приборы контроля качества и диагностики состояния объектов: материалы 2-й междунар. науч.-техн. конф. – Могилев: Белорус.-Рос. ун-т, 2006. – С. 71–73.

E-mail: А.С.Крюков – sasa-mail@inbox.ru
 В.В.Чегодаев – chegodaevvv@gmail.com
 В.П.Лунин – valery.lunin@mtu-net.ru
 А.Г.Жданов – zhdanov.andrew82@gmail.com

УДК 620.179
РАЗРАБОТКА ТЕЧЕЙСКАТЕЛЯ ДЛЯ КОНТРОЛЯ СВАРНЫХ ШВОВ С
ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ГАЗО-ВОЗДУШНОЙ СМЕСИ НА ОСНОВЕ
2 % ВОДОРОДА

А. С. ЛАВРЕНТЬЕВ
НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ «МЭИ»
Москва, Россия

При передаче веществ по трубопроводам возникает необходимость контроля участков соединения труб – сварных швов. Одним из наиболее качественных и точных методов контроля сварных швов является метод течеискания. Течеискание – вид испытаний на герметичность, основанный на регистрации веществ, проникающих через течи. Течь представляет из себя пористый участок или канал в конструкции, который нарушает герметичность. Определение геометрии течей – весьма сложная задача, поэтому в технике течеискания о наличии течей судят по количественному содержанию газа или жидкости, проникающих через них. Поиск течей осуществляется с помощью устройств под общим названием «течеискатели». Как правило, течеискатели состоят из следующих основных составляющих: датчик, схема обработки сигнала, устройство сигнализации. Разработка малогабаритных, точных и обладающих низкой себестоимостью течеискателей является весьма актуальной задачей в современном неразрушающем контроле.

В качестве детектируемого вещества достаточно неплохие результаты дает 2 % смесь водорода с воздухом, ввиду хорошей проникающей способности водорода и как наиболее часто используемая при проведении испытаний на герметичность промышленных объектов.

Для данной задачи был выбран термокаталитический датчик, ввиду хорошей зависимости выходного сопротивления датчика от концентрации детектируемого газа.

Сенсор представляет собой дифференциальный датчик, состоящий из двух чувствительных элементов, один из которых с термокаталитизатором, а второй без термокаталитизатора. Датчик разработан по новейшей TAF (Thin Alumina Film) технологии. Ниже приведен рисунок датчика.

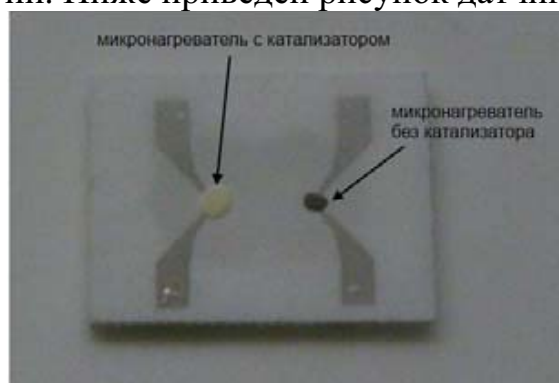


Рис. 1. Схема сенсора

Для измерения и управления наиболее важными параметрами измерительных элементов газовых датчиков были созданы специализированные

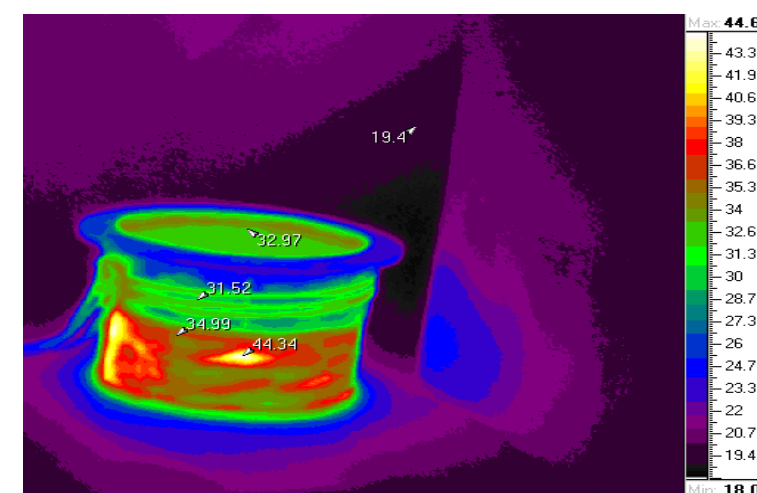


Рис. 1. Исследование стакана термостата с дефектом в области нагревательного элемента (с водой) после выхода на режим стабилизации температуры технологической жидкости

После того, как был осуществлён анализ полученных результатов, было принято решение, что необходимо осуществлять входной контроль стаканов термостата, а также самих биологических термостатов в процессе их производства и наладки путём отслеживания процесса нагрева термостатом технологической жидкости, что, в свою очередь, означает необходимость контролировать температуру технологической жидкости в различных точках. Для целей проверки термостатов биологических, а также для изучения тепловых процессов, протекающих в них, был разработан программно-аппаратный комплекс, состоящий из микропроцессорного устройства, которое проводит опрос, подключенных к нему датчиков температуры (до восьми), и программного обеспечения, необходимого для работы комплекса.

По литературным источникам сравнительный анализ способов измерения температуры показал, что с учётом необходимого диапазона температур (0...45 °С) и требуемой точности (не менее 0,5 °С), наиболее рациональным решением будет использование термосопротивлений в качестве датчиков температуры. Исходя из этого, в качестве датчиков были выбраны терморезисторы HELL-705-T-1-12-C1 производства фирмы Honeywell со следующими техническими характеристиками:

- температурный диапазон – от -200 +260°С;
- сопротивление при 0 °С – 100 Ом;
- точность показаний – ±0,1°С;
- вид выходной характеристики – линейная характеристика.

Термосопротивления каждого канала включены в одно плечо мостовой схемы. По напряжению в плечах моста можно судить о сопротивлении датчика, а, следовательно, и о температуре. Для последующего получения цифрового значения приведение напряжения с измерительного моста к требуемому диапазону происходит на операционных усилителях LM358 фирмы Texas Instruments Inc.

УДК 621.1.016.4
СПОСОБ И УСТРОЙСТВА ДЛЯ МОНИТОРИНГА ТЕХНИЧЕСКОГО
СОСТОЯНИЯ ТЕРМОСТАТИРУЮЩИХ УСТРОЙСТВ

А. Е. МОИСЕЕВ
ГУ ВПО «БЕЛОРУССКО-РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
Могилев, Беларусь

Для поддержания температуры на определенном значении тех или иных материалов применяют устройства – термостатирующие установки, которые получили широкое распространение в промышленности, медицине и ветеринарии. В частности, для размораживания криоконсервированного в жидком азоте биологического материала сельскохозяйственных животных, применяют специально разработанные для этих целей термостаты биологические. Технология разогрева должна строго соответствовать нормативной документации [1, 2]. Иначе её нарушение может привести к потере жизнеспособности образцов биологического материала и невозможности его дальнейшего использования при искусственном осеменении.

Устройство термостатов биологических весьма разнообразно. Однако можно выделить ряд общих частей, составляющих их конструкцию. Стакан термостата с технологической жидкостью, в который помещаются гранулы либо «соломинки» [1] с биологическим материалом; нагревательный элемент; электронный блок управления; датчик температуры для обеспечения контроля температуры биологического материала. Термостаты биологические снабжаются сигнальными и предохранительными устройствами.

Было выдвинуто предположение, что на технологию размораживания может повлиять наличие скрытых (внутренних раковин) или открытых (сколов и т.д.) дефектов литья алюминиевых сплавов, возникающих при производстве стаканов термостата. Было произведено исследование термостатирующих установок посредством сканирующего инфракрасного прибора для визуализации и измерения тепловых полей (ИРТИС-2000С), с целью измерения тепловых полей, а также для обнаружения скрытых дефектов составных частей термостатирующих установок, возникающих при их изготовлении, с целью исследования влияния данных дефектов на тепловые и энергетические процессы, протекающие в этих установках.

Было выявлено, что в местах, где были обнаружены скрытые дефекты, температура стенок стакана термостата, а, как следствие, температура технологической жидкости на несколько градусов превышала максимально допустимое значение температуры, необходимой для осуществления размораживания биологического материала (рис. 1).

блоки обработки сигнала "драйверы". Эти устройства позволяют получать наиболее полную информацию о состоянии и параметрах работы сенсора. Драйвер регистрирует величину тока нагревателя, падение напряжения, определяет выделяющуюся электрическую мощность и температуру горячей зоны измерительного элемента. Драйвер позволяет поддерживать с высокой точностью температуру микронагревателя на заданном уровне.

Драйвер разделяется на схему питания и схему преобразования сигнала. Задача первой – обеспечить ток питания для поддержания сопротивления, а, следовательно, и температуры нагревателя с необходимой стабильностью и точностью. Задача второй – согласование уровней напряжения датчика и напряжения, достаточного для оцифровки на АЦП без погрешности.

Далее обработка полученного сигнала осуществляется на микроконтроллере. Впоследствии полученный сигнал переводится в цифровой код, сравнивается с калибровочной характеристикой, осуществляется поиск диапазона, в который попало полученное значение и выполняется линейная аппроксимация результата. Для обработки сигнала на микроконтроллере написана специализированная программа на языке Assembler. В качестве входных параметров используются данные о нагреве датчика (напряжение нагрева), разбаланс моста, в плече которого находится датчик (напряжение разбаланса), напряжение средней точки (напряжение на сенсоре без термокатализатора). С помощью этих данных осуществляется вычисление концентрации и термокомпенсации при изменении температуры окружающей среды и неизменной температуре датчика. Далее приведена формула для вычисления искомого значения концентрации.

$$C_x = C_1 + \frac{(C_2 - C_1) \times (U_{12} - U_{11})}{(U_{1x} - U_{11})},$$

где C_x – искомое значение концентрации; C_1, C_2 – левая и правая границы найденного диапазона; U_{11}, U_{12} – левая и правая границы найденного диапазона разбаланса моста; U_{1x} – принятый на АЦП сигнал.

В качестве устройств индикации были использованы излучатель звука, сигнализирующий о превышении порога концентрации и стрелочный индикатор, сигнализирующий о количественном содержании концентрации.

Практические эксперименты проводились с помощью термокамеры, проточного многопозиционного газового стенда и формователя газовых потоков. Газовый стенд позволяет поддерживать необходимую концентрацию детектируемого газа в анализируемой среде с высокой степенью точности. Формователь газовых потоков позволяет регулировать и контролировать состав и величину расходов газов. С помощью особенностей конструкции датчика и обработки данных удалось получить достаточно линейные результаты по концентрации и независимость концентрации от влажности. В результате удалось разработать течеискатель, обладающий малыми размерами (12 мм × 6 мм), а также малой себестоимостью.

Ввиду огромного потенциала ресурсов и размеров нашей страны, контроль герметичности трубопроводов является актуальной задачей и требует дальнейшего развития соответствующих устройств.

E-mail: LavrentyevAS@mail.ru

ПРЕЦИЗИОННАЯ ЛАЗЕРНАЯ МАРКИРОВКА ИЗДЕЛИЙ.
ДЕФЕКТЫ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПОГРЕШНОСТИ
ПРИ НАНЕСЕНИИ НАДПИСЕЙ

Л. И. ЛЕБЕДЕВА, А. Д. КАТУНИН
Ф-л ФГБОУ ВПО «ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
УЧЕБНО-НАУЧНО-ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ КОМПЛЕКС»
Карачев, Россия

Лазерные технологии широко используются в машиностроении и приборостроении. Лазерное технологическое оборудование успешно применяется для резки материалов, заточки инструмента, лазерной пайки, сварки и маркировки изделий. Прецизионная лазерная маркировка отличается от других способов нанесения символов высокой производительностью, чёткостью, миниатюрностью и износостойкостью надписей.

Технология лазерной маркировки обладает достоинствами [1]:

- высокая экономическая эффективность и снижение трудоёмкости на операции маркировки даже при выпуске изделий малыми партиями;
- снижение трудоёмкости контрольных операций при проведении приёмосдаточных и периодических испытаний;
- высокая скорость нанесения надписей и рисунков обеспечивает лучшую пропускную способность оборудования и повышенный коэффициент его использования по сравнению с другими способами маркировки;
- максимально щадящий метод для любых материалов и изделий, отсутствие всевозможных механических воздействий, приводящих к нарушению целостности изделий;
- высококонтрастные надписи обеспечивают превосходное считывание, в том числе и машинное (автоматическое);
- сочетание надёжности, удобства и защищённости информации (надписи невозможно удалить и изменить, прекрасная защита от любых попыток фальсификации);
- высокая устойчивость к воздействию температур, истиранию, щелочам, кислотам, растворителям, другим агрессивным средам, повышенной влажности воздуха и морскому (соляному) туману;
- возможность выполнения надписей достаточно большого объёма на малых площадках корпусов и сохранение необходимых площадей для нанесения дополнительной маркировки соединителей при монтаже в составе аппаратуры потребителей.

Внедрение лазерной маркировки не требует значительных затрат, изделия маркируются на компактной установке, срок окупаемости которой составляет всего 5 месяцев.

светодиодных ламп типа ЛПО. Изучены светодиодные лампы разных конструкций: с оптическими светодиодами, с микромодульными светодиодами, с прозрачным и матовым рассеивателями света. Анализ диаграмм показал, что направленность света зависит от конструкции лампы. Лампа накаливания генерирует излучение, направленное подобно естественному солнечному свету, а его максимум приходится на полезную площадь помещения. Люминесцентная лампа имеет почти равномерную диаграмму направленности излучения, но его максимум наблюдается под углом в $45...75^\circ$ от плоскости пола помещения. Светодиодная лампа имеет максимум излучения под углом $0...30^\circ$ от плоскости пола, а при увеличении угла интенсивность света резко уменьшается (в $3...10$ раз). Матовый рассеиватель делает направленность излучения более равномерной.

Подводя итоги работы, можно отметить, что в процессе эксплуатации светодиодных ламп происходит деградация их параметров, таких как электрическая мощность и освещённость. В качестве причины деградации мощности и освещённости ламп предполагается перегрев светодиодов в матрице. Данная гипотеза выдвинута на основании анализа внешнего вида лампы после отказа: отказ светодиодов произошёл в точке соприкосновения с резисторами цепи питания. Резисторы имели «перегретый» вид (они почернели). Установлено, что при единичном включении светодиода нагреваются не более чем до 29°C . В лампах светодиоды при перегреве на $40...90^\circ\text{C}$. Повышенная температура в светодиодной лампе снижает её надёжность. При температуре $+75^\circ\text{C}$ ресурс светодиода сокращается до 10000 часов. Отказ одного диода вызывает отказ всей лампы, поэтому её ресурс, при повышенной температуре, должен быть на порядок меньше ресурса одного диода. Значит, полученное значение ресурса лампы ЛПО-18 в 1000 часов теоретически обосновано.

Ресурс светодиодной лампы в 1000 ч исключает возможность получения эффекта от её использования. Повышение ресурса и снижение интенсивности деградации параметров светодиодных ламп является наиболее актуальной задачей, стоящей перед производителями светодиодных ламп. Одним из основных путей её решения является выявление в их структуре источников повышенной теплоты и разработка мероприятий по снижению избыточной температуры внутри корпуса светодиодной лампы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Бернат, С. В.** Сравнительный анализ энергетических характеристик источников освещения / С. В. Бернат, В. В. Марков // Современные технологии в задачах управления, автоматики и обработки информации: тез. докл. XX междунар. науч.-техн. семинара. – Украина, Крым, Алушта: 18–24 сентября 2011 г. – С. 94–96.

E-mail: pms35vm@yandex.ru

ний служат серийно выпускаемые лампы полупроводниковые осветительные типа ЛПО-18 и ЛПО-07.

Цель исследований – определить характер изменения электрической мощности светодиодных ламп после их длительной эксплуатации, оценить освещённость от светодиодной лампы, снять диаграмму направленности её излучения. Методика проведения эксперимента заключалась в следующем. Из партии были отобраны две лампы, у которых были измерены мощность и освещённость. Затем одна из ламп подвергалась эксплуатации, а другая – хранению. Эксплуатация лампы №1 продолжалась до отказа, который произошёл через 1000 ч работы. В период эксплуатации и хранения ламп измерялась их мощность, освещённость и температура внутри корпуса [1].

Ресурсные испытания показали, что мощность светодиодной лампы после эксплуатации в течение полугода увеличилась почти в 2 раза. Резкое увеличение мощности лампы по сравнению с номинальным значением стало неожиданностью. Для поиска причин увеличения мощности было выполнено измерение температуры внутри корпуса лампы.

Исследованы также тепловые явления в светодиодной лампе и в одиночном светодиоде. Эксперименты проводились с помощью двух измерительных приборов: термометра типа ТЭС-5 и комбинированного цифрового прибора DT-838. Эксперименты проводились в течение двух часов (для каждой лампы). Результаты измерения температуры показывают, что светодиоды в лампах работают с постоянным перегревом. Нормальная температура работы диодов, как правило, не превышает 30°...40 °С. Перегрев светодиодов в матрице лампы может объясняться либо непосредственным перегревом светодиодов, либо косвенным нагревом диодов в результате нагрева элементов, обеспечивающих их работу. Возможно, существует взаимное влияние излучения соседних светодиодов. Но, в любом случае, тепловой режим одиночных светодиодов и тепловой режим группы светодиодов в матрице существенно отличаются. Поэтому нельзя задавать светодиодной лампе ресурс, равный ресурсу отдельно взятого светодиода.

Дальнейшие ресурсные испытания показали, что причиной отказа исследованных светодиодных ламп действительно является перегрев светодиодов, вызванный недопустимо высокой избыточной температурой резисторов электронного преобразователя сетевого напряжения, расположенных в непосредственной близости от светодиодной матрицы.

Исследованы также светотехнические характеристики светодиодных ламп: освещённость, световой поток и диаграмма направленности излучения. При измерении освещённости в качестве измерительного прибора использовался люксметр Ю-116. Анализ экспериментальных данных говорит о том, что освещённость помещения светодиодными лампами оказывает влияние тип рассеивателя света. Наибольшую освещённость обеспечивает лампа с прозрачным рассеивателем. Рассеиватель света уменьшает световую отдачу лампы: прозрачный – на 15 %, а матовый – на 40 %.

Выполнена серия экспериментов по сравнению диаграмм направленности светового излучения для лампы накаливания, люминесцентной лампы и

Таким образом, лазерная маркировка изделий является наиболее перспективным способом нанесения надписей (по сравнению с маркировкой краской, литьём и объёмной штамповкой, электроэрозионной обработкой). *Актуальной проблемой* расширения возможностей лазерной маркировки является анализ её режимов и погрешностей, а также обоснование её применения в условиях, сопряжённых с риском разрушения изделия.

Целью данной работы является анализ качества лазерного шва, режимов и погрешностей лазерной обработки, а также экспериментальное обоснование пригодности лазерной технологии для нанесения надписей на тонкоплёночные покрытия без их повреждения.

Технологический маршрут прецизионной лазерной маркировки включает в себя следующие операции:

- 1) подготовка рабочего места. Необходимо включить питание управляющего компьютера, включить питание лазерной установки;
- 2) запуск заранее созданной программы для маркировки изделия, содержащей основные технологические режимы маркировки;
- 3) проверка правильности наносимой надписи. Следует проверить наличие в надписи всех элементов, указанных в технических условиях;
- 4) установление фокусного расстояния маркировки. Необходимо расположить изделие на рабочем столе, проверить фокусное расстояние от объектива лазерной установки до поверхности изделия по шаблону;
- 5) оптимизация режимов маркировки. Необходимо оптимизировать режимы маркировки по качеству наносимых знаков;
- 6) нанесение маркировки на поверхность изделия. Необходимо нанести маркировку на поверхность изделия нажатием на педаль или с помощью «мыши» компьютера;
- 7) контроль. Необходимо выполнить визуальный контроль качества маркировки поверхности изделия и положить готовое изделие в тару.

Задание технологических режимов маркировки происходит на этапе запуска заранее созданной программы. Управляющая программа должна поддерживать следующие режимы:

- 1) частота импульсов лазерного излучения – 10 кГц;
- 2) скорость перемещения луча – 50...300 мм/с;
- 3) ширина следа линии лазерного излучения (шва) – 0,05...3 мм;
- 4) мощность лазерного излучения – 20...100 % от максимальной мощности лазерного излучения установки;
- 5) продолжительность прожига надписи – 5...10 с;
- 6) координаты нанесения надписи относительно рабочего стола задаёт составитель программы изготовлением рабочего чертежа надписи.

Технологические режимы лазерной маркировки отличаются высокой степенью адаптации к особенностям поверхностей обрабатываемых изделий, возможностью автоматизации, высокими механическими и физико-химическими свойствами надписей. Благодаря этим достоинствам лазерную маркировку можно рекомендовать как предпочтительный метод нанесения

надписей на детали сложной конфигурации с особыми свойствами. Гибкая технология лазерной маркировки позволяет по требованию потребителя вводить в состав маркировки необходимую дополнительную информацию, не включенную в обязательный блок.

Актуальной проблемой лазерной маркировки является качество шва. Под качеством шва понимается отсутствие отклонений размера шва в направлении, поперечном ходу лазерного луча. Для оценки качества лазерного маркировочного шва было выполнено исследование знаков маркировки с помощью исследовательского микроскопа AKSTOCKOP2 MAT. Установлено, что шов идёт зигзагами, причём неровность лазерного шва проявляется как в продольном, так и в поперечном направлениях. Результаты измерений колебаний лазерного шва показывают, что период колебаний в продольном и поперечном направлениях неодинаков. Частота импульсов лазерного излучения составляет $f = 10$ кГц, значит, она может обеспечивать колебания лазерного шва с периодом $T = 0,1$ мс и шаг колебаний $L = 30$ мкм, что в 4 раза меньше шага поперечных колебаний надписи и в 10 раз меньше шага её продольных колебаний. Следовательно, частота лазерного излучения не может быть причиной выявленных неровностей надписи. Можно предположить, что низкая точность шва связана с вибрацией стола приспособления для маркировки. Таким образом, основным условием качества лазерной маркировки является жёсткость системы СПИД лазерного технологического оборудования.

Другой актуальной проблемой лазерной маркировки является назначение режимов нанесения символов на поверхности миниатюрных деталей с тонкоплёночным покрытием. Конструктивной особенностью данных изделий является коробчатая форма, получаемая литьём из термопластичных полимерных материалов и последующим нанесением двухслойного металлического (экранирующего) двухстороннего покрытия. При этом целостность тонкого металлического покрытия, состоящего из слоя меди (30...40 мкм) и слоя никеля блестящего (40...60 мкм), не должна быть нарушена.

Наблюдение среза поверхности маркированного корпуса в микроскоп показало, что реальная толщина металлического и электропроводного покрытия находится в пределах от 90 до 150 мкм, а глубина буквы, нанесённой лазерной маркировкой, составляет 20...30 мкм. При соблюдении режимов обработки технология лазерной маркировки обеспечивает, как минимум, двукратный запас по толщине покрытия и может успешно использоваться для маркировки изделий с тонкими покрытиями поверхностей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Крылов, К. И.** Применение лазеров в машиностроении и приборостроении / К. И. Крылов, В. Т. Прокопенко, А. С. Митрофанов. – М. : Машиностроение, 2008. – 336 с.

E-mail: pms35vm@yandex.ru

УДК 621.382.232

РЕСУРСНЫЕ ИСПЫТАНИЯ И КОНТРОЛЬ ТЕХНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК СВЕТОДИОДНЫХ ЛАМП

В. В. МАРКОВ, С. В. БЕРНАТ

Ф-л ФГБОУ ВПО «ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
УЧЕБНО-НАУЧНО-ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ КОМПЛЕКС»

Карачев, Россия

В настоящее время светодиодные лампы являются одним из наиболее перспективных источников освещения. От традиционных ламп накаливания светодиодные лампы выгодно отличаются более высокой световой отдачей (светодиодная лампа мощностью 10 Вт эквивалентна лампе накаливания мощностью 100 Вт) и теоретически более длительным ресурсом – средний ресурс лампы накаливания составляет 1000 ч, а средний ресурс светодиода – 50000 ч. От широко распространённых «энергосберегающих» люминесцентных ламп светодиодные лампы выгодно отличаются экологической безопасностью при утилизации – светодиоды не содержат ртути, входящую в состав люминофора люминесцентных ламп.

Недостатками светодиодных ламп являются: высокая стоимость (в России стоимость светодиодных ламп – аналогов ламп накаливания – лежит в пределах от 300 до 1000 рублей) и неопределённость характера изменения технических характеристик в процессе эксплуатации. Последний недостаток связан с объективными причинами – светодиодные лампы изготавливаются в России не более 3...5 лет, и ещё ни одна лампа не выработала средний ресурс, установленный для одного светодиода. Экспериментальные данные о характере изменения свойств светодиодных ламп после их длительной эксплуатации в научной литературе отсутствуют, поэтому данная работа, направленная на их получение, является *актуальной*.

Данная работа выполнена по заказу предприятия – ЗАО «Протон-Импульс». Это предприятие расположено в городе Орле (Россия) и является одним из российских производителей светодиодных ламп.

Производимые заводом светодиодные лампы получили наименование «Лампа осветительная полупроводниковая» – ЛПО; освоено производство нескольких типов ламп, отличающихся друг от друга: конструкцией применяемых светодиодов (корпусные и бескорпусные), их количеством (от 20 до 85), электрической мощностью и освещённостью. Светодиодная лампа типа ЛПО представляет собой матричный светодиодный излучатель, размещённый в пластмассовом корпусе. Светодиоды образуют две линии, соединённые параллельно. В линиях светодиоды включены последовательно. Расстояние между светодиодами в излучающей матрице не более 1 мм. Начиная с 2009 года в Карачевском филиале ФГБОУ ВПО «Госуниверситет-УНПК» проводятся ресурсные испытания светодиодных ламп. Объектом исследова-

Надежность, работоспособность и экологическая безопасность трубопроводных систем теплоснабжения и горячего водоснабжения в значительной степени определяют условия проживания населения, его безопасность и имеют не только техническую, но также социальную значимость.

На предприятиях, использующих стальные трубы для производства труб ППУ и комплектующих трубопроводов, следует организовать жесткий контроль всей поступающей трубной продукции.

Проверку соответствия труб стандартам для исключения попадания бывших в употреблении труб осуществляет служба технического контроля предприятия-потребителя труб или лицо, которому руководством предприятия поручена проверка.

Разработаны методические рекомендации по контролю качества металла труб, которыми предусмотрены: документальная проверка, включающая изучение документации на обследуемые трубы, проверку подлинности сертификатов и соответствия труб сертификатам; визуально-оптический контроль состояния поверхности металла труб; измерительный контроль геометрических размеров и параметров труб; определение механических характеристик и свойств металла стальных труб; оформление документального заключения о годности труб или акта выбраковки.

Фактическое состояние материала стенок трубы и ее микроповреждаемость при визуально-оптическом контроле не выявляется, поэтому необходим анализ состава металла, металлографический анализ и механические испытания. Наиболее информативные сведения получают при испытаниях металла на ударную вязкость при нормальной (20° С) и пониженной (до -40° С) температурах. Браковочным признаком является отклонение любого показателя от требований стандартов.

При обнаружении несоответствия обследуемых труб по одному из пунктов методики принимают решение о браковке партии труб.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Ладода, С.** Трубопроводы в ППУ изоляции / С. Ладода, А. Лупачёв // Коммунальный комплекс России. – 2011 – № 11(89) – С. 12–13.
2. Опасность применения металлических труб, бывших в эксплуатации, при строительстве теплотрасс из комплектующих с пенополиуретановой изоляцией в стальной оцинкованной или полиэтиленовой оболочке / С. К. Павлюк [и др.] // Новости теплоснабжения – 2010. – № 11 (123). – С. 25–29.
3. **Шалыжин, К. А.** Опасность применения металлических труб, бывших в употреблении, при строительстве теплотрасс / К. А. Шалыжин, А. В. Лупачёв // «Энергетика. Энергосбережение. Экология». – 2011 – № 5. – С. 14–16.

УДК 620.179.111

КАПИЛЛЯРНЫЙ КОНТРОЛЬ ПРИ ТОНКИХ СЛОЯХ ПРОЯВИТЕЛЯ

Н. П. МИГУН, Н. В. ДЕЛЕНКОВСКИЙ, А. Б. ГНУСИН
ГНУ «ИНСТИТУТ ПРИКЛАДНОЙ ФИЗИКИ НАН Беларуси»
Минск, Беларусь

По существующим в капиллярной дефектоскопии теоретическим представлениям основную роль при извлечении пенетранта из полости дефекта играет *твердая фаза проявителя*, которая должна покрывать все устье дефекта слоем определенной толщины [1]. Однако полученные авторами экспериментальные данные по исследованию процесса проявления дефектов показывают важную роль также *жидкой фазы проявителя* в формировании следа дефекта. В данной работе исследовалось проявление дефектов в тех случаях, когда слой проявителя не покрывает полностью площадь контролируемой поверхности детали (такой параметр, как толщина слоя проявителя в данном случае вообще отсутствует).

Для исследования процесса проявления дефектов при неполном по площади покрытии проявителем контролируемой поверхности использовалась автоматизированная система обработки и анализа видеоизображений [2] в сочетании с металлографическим микроскопом "Метам-Р1".

Как показали проведенные исследования, даже при неполном по площади покрытии образца слоем проявителя в областях, где отсутствует непосредственный контакт твердой фазы проявителя с устьем дефекта, также наблюдается интенсивное извлечение пенетранта из полости дефекта (рис. 1).

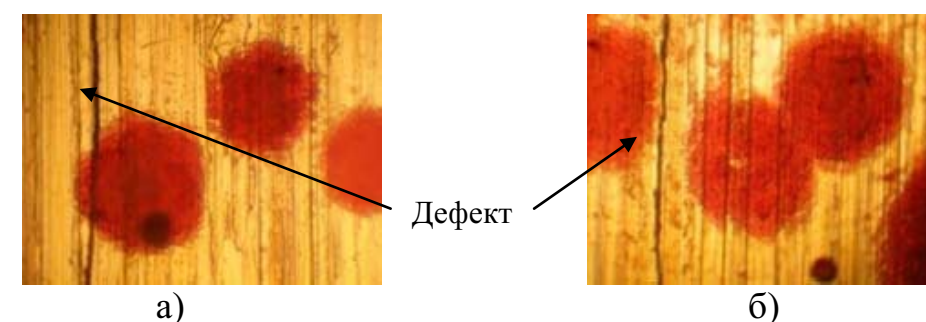


Рис. 1. Локальная пропитка пенетрантом твердой фазы проявителя вне устья дефекта при неполном нанесении проявителя по площади образца

Как видно из рис. 1 локальные области твердой фазы проявителя, не входящие в контакт с устьем дефектов при жидкофазном проявлении, также достаточно интенсивно впитывают пенетрант.

Интенсивность окраски зоны твердой фазы, перекрывающей устье дефекта, и другой зоны, которая находится на расстоянии 20–25 мкм от устья дефекта, примерно одинакова (рис. 1). Это позволяет сделать вывод об от-

сутствии принципиальных различий между механизмами пропитки пенетрантом обеих зон. В обоих случаях важную роль играет жидкая фаза проявителя, а также тонкопленочное истечение пенетранта из дефекта.

На рис. 2 показаны результаты капиллярного контроля образцов при неполном покрытии поверхности слоем проявителя по сравнению с традиционной технологией. Из рисунка видно, что при 70 % покрытия по площади образца твердой фазой проявителя выявляемость дефектов достаточно высокая.

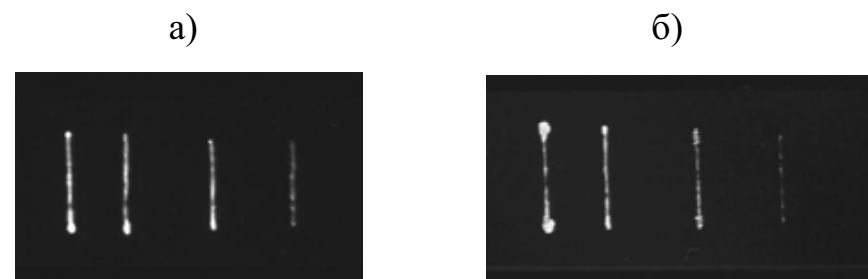


Рис. 2. Капиллярный контроль при неполном нанесении проявителя по площади образца: а – неполное покрытие проявителем поверхности контроля (70 %); б – толщина слоя проявителя 30 мкм

Выводы.

1. Экспериментально с использованием микроскопических исследований и результатов капиллярного контроля установлено, что процесс проявления дефектов может протекать при неполном по площади нанесении твердой фазы проявителя из аэрозольных баллончиков. Такой факт не согласуется с общепринятым в теории капиллярного контроля положением о необходимости для проявления дефекта слоя проявителя определенной толщины.

2. Установлено, что при степени покрытия твердой фазой проявителя поверхности образца в диапазоне 90–100 % площади следов дефектов существенно не отличаются от полученных по традиционной технологии (толщина слоя проявителя 20–40 мкм). Это позволяет значительно снизить расход проявителя при проведении контроля.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Прохоренко, П. П. Введение в теорию капиллярного контроля / П. П. Прохоренко, Н. П. Мигун. – Минск : Наука и техника. – 1988. – С. 207.

2. Мигун, Н. П. Компьютеризированная система определяет качество дефектоскопических материалов / Н. П. Мигун, А. Б. Гнусин, И. В. Волович // Промышленная безопасность. – 2004. – № 1. – С. 34–36.

и последствия использования таких труб для надежности теплотрасс из труб ППУ: долговечности, безотказности, ремонтпригодности.

Табл. 1. Повреждения в стальных трубах после длительной эксплуатации в трубопроводных системах

Характер повреждения стенки трубы	Причины повреждения	Последствия для работоспособности
Уменьшение толщины стенки трубы	Общая коррозия, вызванная утратой проектных характеристик изоляционных покрытий, а также взаимодействием металла с транспортируемым продуктом	Снижение проектных параметров работоспособности, повышение аварийности трубопроводов, увеличение затрат на ремонты
Местные повреждения стенок в виде углублений, канавок и язв	Местная грунтовая коррозия при повреждении сплошности изоляционного покрытия	Нарушение сплошности стенок труб, приводящая к протечке теплоносителя
Трещины по границам и по телу зерна с незначительными разветвлениями	Коррозия под напряжением от эксплуатационных нагрузок	Протечки транспортируемого продукта, аварийное разрушение труб
Проникновение транспортируемого продукта в несплошности металла и границы зерен	Адсорбционное взаимодействие металла с транспортируемым продуктом	Опасность хрупкого разрушения, ухудшение свариваемости металла
Деградация свойств металла	Деструктивные процессы от деформационного старения, распад феррита с выделением третичного цементита, оксидов, нитридов	Снижение пластичности, смещение температурного перехода в хрупкое состояние в сторону более высоких температур
Сетка трещин, распространяющихся по телу зерен	Усталость материала стенки трубы из-за концентрации механических и температурных напряжений у мест с геометрической или структурной неоднородностью	Возрастание интенсивности отказов трубопроводов, нецелесообразность дальнейшей эксплуатации трубопровода в связи с увеличением затрат на ремонты
Трещины в сварных швах и зоне термического влияния	Не выявленные дефекты сварных соединений металлургического происхождения	Снижение надежности трубопровода из-за развития мелких трещин до критических размеров и увеличение опасности хрупкого разрушения
Изменение размеров и формы трубы, образование овальности и гофр	Низкотемпературная ползучесть. Режимы эксплуатации с предельными нагружениями	Снижение статической и циклической трещиностойкости

УДК 621.64(075.32)

ОЦЕНКА КАЧЕСТВА СТАЛЬНЫХ ТРУБ
ДЛЯ СТРОИТЕЛЬСТВА ТЕПЛОТРАСС

В. Г. ЛУПАЧЁВ, М. У. АКПАНУРОМ, Н. В. МАЛАШЕНКО
ГУ ВПО «БЕЛОРУССКО-РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
Могилев, Беларусь

Трубопроводы теплотрасс из предварительно изолированных труб с пенополиуретановой теплоизоляцией в полиэтиленовой или стальной оцинкованной гидрозащитной оболочке (трубы ППУ) при эксплуатации находятся под воздействием переменных механических и тепловых нагрузок, а также коррозионно-активных сред. В течение 30-летнего периода эксплуатации трубопроводы должны сохранять работоспособность, т. е. состояние, при котором значения параметров, характеризующих способность выполнять функции транспортировки теплоносителя, соответствуют требованиям технической документации. Это возможно при использовании для производства труб ППУ только качественных и новых материалов, соответствующих стандартам на стальные трубы.

Существует практика использования для изготовления труб ППУ стальных труб, бывших в эксплуатации в трубопроводных системах, газо- и нефтепроводах и снятых с эксплуатации в связи с исчерпанием технического ресурса. Бывшие в эксплуатации трубы обычно сдают в металлолом, но в последнее время, некоторые недобросовестные изготовители труб ППУ используют их в производстве, нарушая требования нормативных документов и существующих технологических процессов в соответствии с ГОСТ 30732-2006, скрывая при этом от потребителя факт использования старых труб [1–3].

Накопление в стальных трубах, бывших длительное время в эксплуатации, структурных изменений и повреждений механической, физической и коррозионной природы приводит к снижению пластичности, термоциклической долговечности и сопротивления хрупкому разрушению материала труб. Технический ресурс таких труб не может быть восстановлен термической обработкой или другими видами обработки. Остаточный технический ресурс отработавших труб не гарантирует надежность и не обеспечивает нормативную долговечность теплотрасс, построенных из бывших в употреблении труб, исчерпавших ресурс работы в менее тяжелых условиях эксплуатации.

Использование бывших в употреблении труб для производства труб ППУ недопустимо, поскольку в ходе строительства и эксплуатации в стальных трубах трубопроводных системах подземной и наземной прокладки возникают дефекты и накапливаются повреждения, которые классифицируют по степени опасности. В табл. 1 описаны основные повреждения и дефекты в металле стальных труб, бывших в эксплуатации в трубопроводных системах,

УДК 620.179.14

ОПРЕДЕЛЕНИЕ РЕЖИМА НАМАГНИЧИВАНИЯ
ПРИ МАГНИТОГРАФИЧЕСКОМ КОНТРОЛЕ
ФЕРРОМАГНИТНЫХ ИЗДЕЛИЙ

В. А. НОВИКОВ, А. В. КУШНЕР, А. В. ШИЛОВ
ГУ ВПО «БЕЛОРУССКО-РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
Могилев, Беларусь

При традиционном методе магнитографического контроля объект вместе с уложенным на его поверхность магнитоносителем намагничивают до индукции, близкой к индукции насыщения материала объекта. Для записи полей дефектов рекомендуют выбирать магнитоноситель такого типа, чтобы рабочая точка его магнитной характеристики совпадала с началом ее крутого возрастающего участка. Это значение близко к коэрцитивной силе H_c магнитоносителя. Выполнить такое условие на практике сложно, т.к. для точной магнитной записи промышленностью изготовлено два типа магнитоносителей: И4701-35 и И4732-35, – с коэрцитивной силой $H_c = 80$ и 260 А/см соответственно. Они рекомендованы для магнитографической дефектоскопии. Напряженность поля, соответствующая индукции насыщения материала объекта H_{sm} , может оказаться равной, меньше или больше H_c магнитоносителя. При этом верхняя граница рабочего диапазона режима намагничивания не определена. При контроле сравнивают амплитуду сигнала, обусловленного дефектом, в контролируемом изделии с амплитудой сигнала, обусловленного дефектом, в испытательном образце, используя для сравнения контрольную магнитограмму. Дефект в изделии считают недопустимым, если амплитуда сигнала, обусловленного им, превышает браковочный уровень (равна или больше амплитуды сигнала от минимального недопустимого дефекта в испытательном образце). Последнее утверждение справедливо для всех режимов намагничивания H , при которых контраст магнитной записи на магнитоносителе полей рассеяния дефектов, глубина которых больше минимального недопустимого дефекта, будет возрастать, т.е. $H \leq H_x$ (рис. 1). Здесь H_x – наименьшая напряженность намагничивающего поля, при котором амплитуда сигнала, обусловленного дефектом, глубина которого больше минимального недопустимого дефекта, не будет превышать амплитуды сигнала от минимального недопустимого дефекта. Это обусловлено тем, что магнитоноситель под действием поля $H_x + H_{td \min}(H_x)$ намагничивается до насыщения и увеличение поля рассеяния дефекта не приводит к увеличению его остаточной намагниченности. $H_{td \min}(H_x)$ – тангенциальная составляющая напряженности поля рассеяния минимального недопустимого дефекта при напряженности внешнего магнитного поля H_x . Следовательно, рабочий диапазон характеристики магнитоносителя будет определяться неравенством

$$H_{sm} \leq H \leq H_x,$$

где H_{sm} – напряженность поля, при котором металл контролируемой зоны объекта намагничивается до индукции насыщения B_s .

Положение точки H_x определяется из неравенства $H_{sl} - H_x \geq H_{\tau d \min}(H_x)$, в противном случае будет наблюдаться недобраковка изделий и снижение достоверности контроля (рис. 1). Для определения $H_{\tau d \min}(H_x)$ воспользуемся известной зависимостью $H_{\tau d}(H)$ (рис. 2): тангенциальная составляющая поля дефекта шириной более 0,2 мм зависит от напряженности намагничивающего поля H по линейному закону. Из графика (рис. 2) следует

$$\frac{H_{\tau d \min}(H_x)}{H_x} = \frac{H_{\tau d \min}(H_{sl})}{H_{sl}}.$$

Значение H_x определяется следующим образом:

$$\begin{cases} H_{sl} - H_x \geq H_{\tau d \min}(H_x), \\ \frac{H_{\tau d \min}(H_x)}{H_x} = \frac{H_{\tau d \min}(H_{sl})}{H_{sl}}, \end{cases} \quad (1)$$

Откуда

$$H_x \leq \frac{H_{sl}^2}{H_{\tau d \min}(H_{sl}) + H_{sl}}. \quad (2)$$

С учетом первого граничного условия (2) принимает вид

$$H_{sm} \leq H \leq \frac{H_{sl}^2}{H_{\tau d \min}(H_{sl}) + H_{sl}}. \quad (3)$$

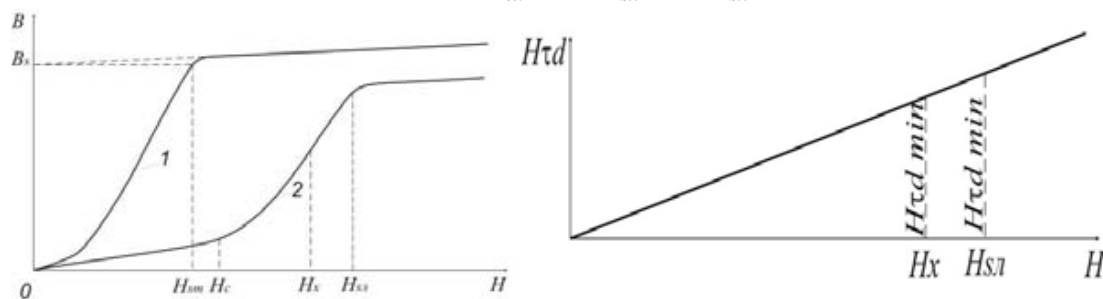


Рис. 1. Возможное взаимное расположение кривых намагничивания: материала объекта контроля 1 и магнитоснабителя 2

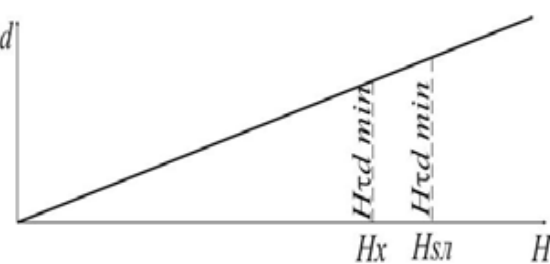


Рис. 2. Зависимость тангенциальной составляющей поля рассеяния дефекта $H_{\tau d}$ минимальной недопустимой глубины шириной более 0,2 мм, от напряженности внешнего поля H

дефектов определяют другими неразрушающими методами контроля, а по выявленным размерам трещин оценивают состояние локально деформированных зон конструкций в соответствии с законами линейной механики разрушения.

Для использования метода оценки состояния конструкций по измерению твердости их локально деформированных зон применяют портативный малогабаритный прибор типа ГПЦ-4, позволяющий производить измерение твердости в производственных и полевых условиях в любом пространственном положении исследуемой поверхности. Прибор обеспечивает выявление изменения твердости на расстоянии между отпечатками не менее 2 мм. Это дает возможность выявлять локально деформированные зоны металла с пиковой формой изменения твердости, а из таких зон, как правило, возникают и распространяются трещины.

Данный метод оценки состояния конструкций значительно упрощает и заменяет ныне применяемые методы. Он дает возможность избавиться от операций по вырезке проб для изготовления лабораторных образцов и последующих лабораторных испытаний. Это приводит к существенному снижению трудовых и энергетических затрат при выполнении указанных работ.

Метод оценки состояния конструкций по измерению твердости можно использовать для идентификации бывших в употреблении, лежалых, некондиционных и восстановленных стальных труб путем проведения их ускоренных механических испытаний в производственных, складских и полевых условиях [3].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Сидоров, В. А. Энергосберегающий метод оценки состояния конструкций / В. А. Сидоров, А. А. Хмелев // Энергоэффективные технологии. Образование. Наука. Практика.: материалы междунар. науч.-практ. конф.: в 3 т. / М-во образования Респ. Беларусь, Белорусский национальный технический университет, Республиканский институт инновационных технологий / под ред. В. Л. Соломахо. – Минск: БНТУ, 2010. – Т. 3. – С. 36–38.
2. Хмелев, А. А. Расширение возможностей оценки качества сталей по результатам исследования на ударную вязкость / А. А. Хмелев, Л. Е. Реут // Весці НАН Беларусі. – 2009 – № 2. – С. 71–75.
3. Опасность применения металлических труб, бывших в эксплуатации, при строительстве теплотрасс из комплектующих с пенополиуретановой изоляцией в стальной оцинкованной или полиэтиленовой оболочке / С. К. Павлюк [и др.] // Новости теплоснабжения. – 2010 – № 11 (123). – С. 25–29.

ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ КОНСТРУКЦИЙ
ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ИЗМЕРЕНИЯ ТВЕРДОСТИ МЕТАЛЛА

В. Г. ЛУПАЧЁВ, М. У. АКПАНУРОМ, *В. А. СИДОРОВ, *А. А. ХМЕЛЕВ
ГУ ВПО «БЕЛОРУССКО-РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
*«БЕЛОРУССКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
Могилев, Минск, Беларусь

Для оценки остаточного ресурса работоспособности и пригодности к дальнейшей эксплуатации сосуда, работающие под давлением, трубопроводы, элементы металлических конструкций грузоподъемных сооружений и другие конструкции периодически подвергаются диагностированию. При этом одним из видов контрольных испытаний является измерение твердости в зонах максимальных силовых и тепловых нагрузок контролируемых конструкций. Если полученный результат показывает, что твердость металла в контролируемой зоне не соответствует требованиям нормативно-технической документации, то металл такого участка подлежит исследованию с целью определения характеристик прочности, пластичности и ударной вязкости. По результатам последних испытаний принимается решение о выбраковке.

Перспективным является метод теоретической оценки характеристик прочности, пластичности и ударной вязкости металла контролируемых зон только по результатам измерения твердости по Бринеллю [1].

Известно [2], что твердость сталей при их деформировании до состояния разрушения возрастает, а значения пластичности и ударной вязкости уменьшаются. При этом максимальная твердость имеет место на поверхности разрушения. Поэтому для каждой конкретной плавки стали существует шкала твердости, с ее минимальным значением в состоянии поставки и максимальным на поверхности разрушения.

Для получения расчетных формул прочности, пластичности и ударной вязкости металла контролируемых зон связывают значения его сертифицированных характеристик с результатами измерений твердости.

Если состояние пластичности контролируемой зоны оценивают по значению относительного удлинения, то необходимо определить соответствует ли полученное значение пластичности ниспадающему участку диаграммы растяжения.

Необходимость такого определения твердости заключается в том, что если твердость металла в контрольной зоне соответствует твердости ниспадающего участка диаграммы растяжения, то в этом состоянии деформированный металл склонен к образованию пор и внутренних трещин. Образовавшиеся дефекты под действием рабочих нагрузок сливаются, образуя трещину, выходящую на поверхность. В таком состоянии размер внутренних

ФОРМИРОВАНИЕ ИНДИКАТОРНЫХ РИСУНКОВ ДЕФЕКТОВ
НА ПЛЕНКЕ, ВИЗУАЛИЗИРУЮЩЕЙ МАГНИТНЫЕ ПОЛЯ

В. А. НОВИКОВ, Г. И. СКРЯБИНА, А. В. ШИЛОВ, А. В. КУШНЕР
ГУ ВПО «БЕЛОРУССКО-РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
Могилев, Беларусь

В последние годы для неразрушающего контроля ферромагнитных объектов, с целью обнаружения в них дефектов, начали применять магнитную пленку, визуализирующую магнитные поля. Она содержит помещенные в миниатюрные капсулы с гелем и равномерно распределенные в нем частички никеля. В зависимости от своего расположения эти частички по-разному отражают падающий свет. Пленка окрашивается в светлые тона, когда частицы располагаются параллельно ее поверхности, и темнеет, когда они ориентированы перпендикулярно поверхности. Пленка имеет толщину 0,15 мм и может многократно использоваться для неразрушающего контроля после восстановления (размагничивания).

В процессе контроля пленку укладывают на поверхность ферромагнитного объекта и намагничивают вместе с ним. Под действием полей рассеяния дефектов, находящихся в объекте, на пленке возникают индикаторные рисунки, по присутствию которых судят о наличии дефектов в изделии. Однако метод контроля является индикаторным и не позволяет даже приблизительно определить величину несплошности по виду ее индикаторного рисунка, а также сделать заключение, превышает ли она браковочный уровень, установленный нормативно-технической документацией. Другими словами, при визуализации полей рассеяния дефектов на магнитной пленке индикаторные рисунки дефектов необходимо оценить количественно для сравнения с индикаторными рисунками минимальных недопустимых несплошностей. Поэтому расчет формирования индикаторных рисунков дефектов на пленке, визуализирующей магнитные поля, с целью их количественной оценки, является важной и актуальной задачей.

Приняты следующие допущения:

- пленка уложена на плоскую поверхность контролируемого ферромагнитного объекта;
- постоянное внешнее поле H_0 направлено параллельно поверхности объекта и пленки, контроль производится в приложенном поле;
- ферромагнитные частицы, находящиеся в капсулах, имеют вытянутую форму и распределены равномерно, а при отсутствии поля – ориентированы хаотически;
- размеры частиц много больше длин волн видимого света (дифракция света на частицах отсутствует);

– лучи света направлены перпендикулярно поверхности пленки и проникают лишь в тонкий поверхностный слой геля глубиной не более длины ферромагнитной частицы;

– свет отражается только от ферромагнитных частиц, находящихся у поверхности пленки;

– угол падения света на частицу равен углу его отражения;

– поглощение света ферромагнитными частицами отсутствует;

– суммарный отраженный световой поток зависит от количества ферромагнитных частиц, отражающих свет;

– количество ферромагнитных частиц, участвующих в формировании отраженного светового потока, пропорционально отношению суммарной напряженности поля в точке к напряженности насыщения H_s магнитной пленки (напряженности, при которой все ферромагнитные частицы ориентированы вдоль поля);

– дефект имеет форму цилиндра и располагается внутри пластины параллельно ее поверхности.

Экспериментальную проверку полученных результатов расчетов производили на образцах размерами 500x50x25 мм, выполненных из стали Ст3. В образцах параллельно грани шириной 50 мм были выполнены сквозные отверстия разного диаметра, располагавшиеся на различной глубине.

Методика контроля заключалась в следующем. На поверхность образца укладывали визуализирующую магнитные поля пленку и образец намагничивали приставным П-образным электромагнитом. В процессе намагничивания фотографировали цифровой камерой магнитоноситель в зоне индикаторных рисунков дефектов, получали его цифровое изображение, из которого попиксельно считывали в файл значения интенсивности изображений составляющих зеленого, красного и синего цвета. Строили графики зависимости интенсивности изображения на магнитоносителе от расстояния поперек индикаторных рисунков дефектов для составляющей цвета, имевшей наибольшие значения.

В работе рассмотрены вопросы формирования индикаторных рисунков дефектов на пленке, визуализирующей магнитные поля в процессе магнитного графического контроля ферромагнитных объектов. Представлены полученные математические выражения, описывающие характер изменения коэффициента отражения света поперек индикаторных рисунков дефектов на пленке при контроле объектов в приложенном поле. Приведены результаты расчетов, учитывающие влияние границ раздела сред, глубины залегания дефекта, его диаметра, режима намагничивания. Представлены соответствующие экспериментальные зависимости, проводится их сравнительный анализ с результатами расчетов.

на) и гидрозащитной оболочки (полиэтилена или оцинкованной стали), современными способами заводского изготовления ПИ-труб, а также наличием системы операционно-дистанционного контроля (ОДК) за состоянием теплотрассы. Все это обеспечивается качественным монтажом и надлежащей эксплуатацией теплотрасс.

ППУ-трубопроводы бесканальной прокладки более чувствительны к случайным повреждениям гидрозащитной оболочки и теплоизоляции по сравнению с трубопроводами, проложенными в каналах. Даже правильный проект теплотрассы и использование самых лучших из всех имеющихся материалов могут возникать повреждения наружной полиэтиленовой оболочки в процессе укладке каких-либо других коммуникаций рядом с теплотрассой. Так, случайные повреждения при строительных работах в условиях современного мегаполиса составляют до 50 % от всех повреждений трубопроводов. Это происходит по причине несогласованности действий смежных организаций, ошибок в проектно-строительной документации, невыполнения нормативных документов, простой небрежности рабочих, ведущих строительные или ремонтные работы.

Анализ неисправностей, возникающих при эксплуатации ППУ-теплотрасс (без учета случайных повреждений) показывает, что более половины из них связаны с неплотностью муфтовых соединений оболочки. Далее по частоте следуют неисправности системы ОДК.

Неплотности стыков стальных труб по частоте составляют 8–10 % от всех повреждений, повреждения от внутренней коррозии – 10–12 %.

Намокания теплоизоляции от неплотности стальных труб и полиэтиленовой оболочки встречаются редко.

Эксплуатационные повреждения ППУ-трубопроводов вызваны следующими причинами: неисправностью муфтовых соединений оболочки (56 %); неисправностью системы оперативно-дистанционного контроля (ОДК) (22 %); неплотностью труб (0,8 %); неплотности оболочки (0,8 %); внутренняя коррозия и кавитация (12 %); повреждения и неплотности сварных швов (8 %); другие причины (0,4 %)

Высокий процент отказов муфтовых соединений стыков оболочки связан с тем, что в статистику вошло значительное количество повреждений муфт устаревших ненадежных конструкций и ненадлежащим качеством монтажа муфт из-за отсутствия опыта у работников, выполнявших гидроизоляцию стыков.

Отказы системы ОДК, в основном, вызваны короткими замыканиями проводов внутри трубы и недостаточным качеством монтажа системы.

По мере накопления опыта строителями и монтажниками, количество этих двух видов наиболее частых повреждений снижаются, соответственно возрастает относительная частота неисправностей сварных швов и от внутренней коррозии.

УДК 621.64(075.32)

ПРИЧИНЫ ОТКАЗОВ ТРУБОПРОВОДОВ ТЕПЛОТРАСС
ИЗ ПРЕДВАРИТЕЛЬНО ИЗОЛИРОВАННЫХ ТРУБ

А. В. ЛУПАЧЁВ, Н. В. МАЛАШЕНКО
ГУ ВПО «БЕЛОРУССКО-РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
Могилев, Беларусь

Работоспособность, надежность и экологическая безопасность трубопроводных систем теплофикации и горячего водоснабжения в значительной степени определяют условия проживания населения и имеют не только техническую, но и социальную значимость.

Под работоспособностью трубопровода понимается такое его состояние, при котором значения параметров, характеризующих способность выполнять функции транспортировки горячей воды, соответствуют требованиям технической документации. При этом основным требованием является транспортировка теплоносителя без его протечек и без сверхнормативных потерь тепла при проектной производительности.

Обобщенной характеристикой трубопровода является его надежность. Эту характеристику определяют несколько составляющих. Основная составляющая характеризует безотказность трубопровода, которая проявляется во времени и характеризуется наработкой на отказ. В соответствии с ГОСТ 27002-89 отказом называется событие, заключающееся в нарушении работоспособного состояния объекта.

Отказы теплотрасс могут быть от случайных повреждений или от неисправностей, возникающих при эксплуатации трубопроводов. Отказы трубопроводов из предварительно изолированных пенополиуретаном труб (ППУ-труб) могут быть внезапные или постепенные. В результате отказов трубопровод теряет работоспособность частично или полностью. Обычно частично работоспособность теряется вследствие намокания теплоизоляции из-за протечки транспортируемого теплоносителя или попадания наружной влаги через неплотности гидрозащитной оболочки. Полные отказы носят аварийный характер. Их причиной является существенное нарушение сплошности стальной трубы.

Важной характеристикой надежности трубопроводов является их долговечность. Планируемая долговечность трубопроводов теплотрасс из ППУ-труб с пенополиуретановой теплоизоляцией или оцинкованной гидрозащитной оболочкой составляет 30 лет. Практика европейских стран показывает, что планируемая долговечность трубопроводов может быть превышена.

Высокие работоспособность и долговечность теплотрасс из ППУ-труб с пенополиуретановой теплоизоляцией и полиэтиленовой гидрозащитной оболочкой определяются современной конструкцией металлополимерной системы, свойствами новых материалов – теплоизолирующего (пенополиурета-

УДК 620.179.14

ОБРАБОТКА ДАННЫХ МЕТОДА ФАЗИРОВАННОЙ
АКУСТИЧЕСКОЙ РЕШЕТКИ ПРИ КОНТРОЛЕ ТРЕЩИН

С. О. ПИЛЮГИН, В. П. ЛУНИН
НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ «МЭИ»
Москва, Россия

Фазированная акустическая решетка (ФАР) является новым словом в ультразвуковом неразрушающем контроле (УЗК). Применение ФАР дает огромное преимущество, по сравнению с применением традиционных ультразвуковых преобразователей: электронное сканирование, электронное управление углом ввода и электронная фокусировка. Повышаются производительность контроля, чувствительность и выявляемость дефектов, по сравнению с классическим УЗК.

Со времени своего появления во всем мире каждый год выходит огромное количество научно-технических статей, патентов по данному виду неразрушающего контроля, при чем подавляющее большинство их касается приборной составляющей, теоретическим основам и фильтрации сигналов. Наряду с этим, мало освещенной остается методическая сторона контроля с помощью ФАР и обработка получаемой с ее помощью информации.

Недостаточная проработка методических основ контроля с помощью дефектоскопов на ФАР, отсутствие международных и государственных стандартов делает затруднительным реальное применение дефектоскопов на ФАР.

Данная работа посвящена разработке алгоритма автоматизированной обработки сигналов ФАР для измерения параметров усталостной трещины.

Для решения прямой задачи неразрушающего контроля была использована конечно-элементная модель акустического тракта преобразователя ФАР, использующая принцип суперпозиции акустических полей. Была получена база модельных сигналов от 234 усталостных трещин различной длины l и угла наклона α в алюминиевой плите толщиной 10 мм. Изображения на соответствующих S-сканах не повторяют оптического образа дефектов [1], следовательно, судить об истинных размерах трещины придется по косвенным численным признакам, полученным из сигналов ФАР.

В итоге, для каждого случая, параметрам смоделированной трещины будет соответствовать ряд численных признаков сигнала ФАР. Для обработки данной информации целесообразно применить регрессионный анализ, считая параметры трещины зависимыми переменными, а признаки сигналов – независимыми.

Несмотря на свою наглядность S-скан является неудобным для обработки. Для дальнейшей обработки удобнее представлять сигналы в виде двумерного сигнала, по оси x у которого отложены отсчеты, а по оси y – угол

ввода волны при секторном сканировании. Примеры таких изображений представлены на рис. 1.

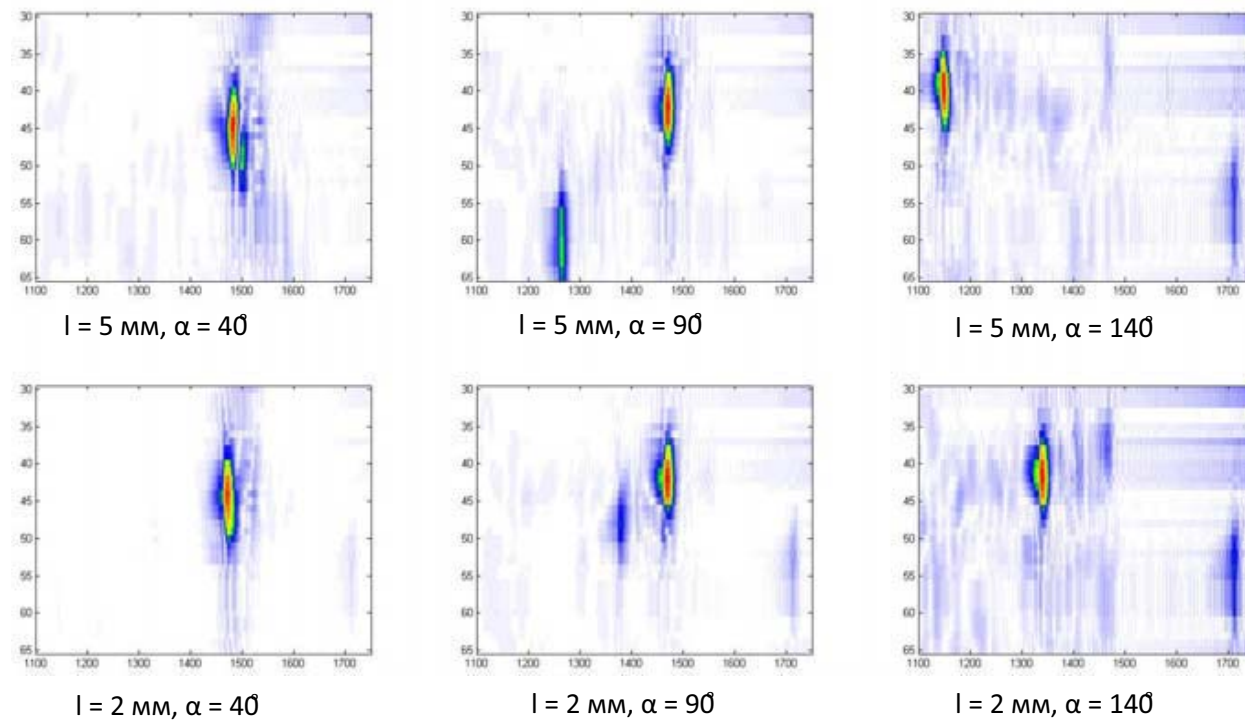


Рис. 1. Сигналы ФАР для обработки автоматизированными алгоритмами

В качестве признаков сигнала были использованы коэффициенты смеси из трех двумерных функций Гаусса, которой приближалось акустическое изображение.

Для обработки признаков сигналов применялся множественный линейный и полиномиальный регрессионные анализы, каждый из которых был выполнен с включением всех переменных, добавлением переменных и исключением переменных.

Оценка качества проведения регрессионного анализа проводилась с помощью критерия R^2 : чем ближе R^2 к единице, тем выше качество приближения функции.

Ошибку в определении параметров дефекта, а так же качество регрессионного анализа оценивалось с использованием данных об остатках регрессии в корректно проведенном регрессионном анализе остатки регрессии должны быть распределены по нормальному закону. Кроме того, удвоенным среднеквадратическим отклонением (СКО), мы получим погрешность в определении параметра дефекта с доверительной вероятностью 0,95.

В табл. 1 и 2 представлены критерии R^2 и удвоенные среднеквадратические отклонения остатков регрессии для параметров l и α , в столбце df , указано количество переменных в модели.

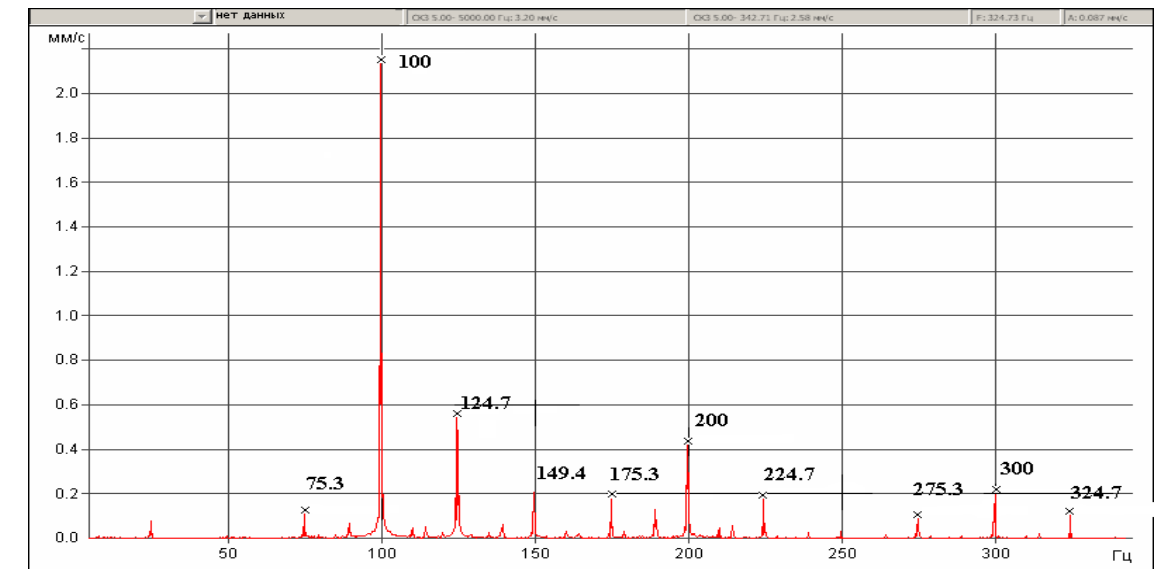


Рис. 4. Спектр виброскорости на электродвигателе АИР90L4У3 при обрыве фазы (100 % несимметрия фазного тока), оборотная частота 24,73 Гц

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шубов, И. Г. Шум и вибрация электрических машин / И. Г. Шубов. – 2-е изд., перераб. и доп. – Л. : Энергоатомиздат. Ленингр. отд., 1986. – 208 с.

лом $\pi/4$ и вращающимся вместе с электромагнитным полем статора со сдвигом по времени на половину периода $T/2$. Здесь же приведено результирующее значение $P_{\Sigma\Sigma}$ двух интегральных сил для 100 % несимметрии тока.

Спектр функции $P_{\Sigma\Sigma}$ приведен на рис. 3. Соотношение спектральных составляющих на частотах кратных 100 Гц можно выразить полиномиальной зависимостью:

$$A_{n100} = A_{100}(-9,3 \cdot 10^{-7} \cdot f^3 + 8,6 \cdot 10^{-4} \cdot f^2 - 0,26 \cdot f + 26,9),$$

где $n = 2, 3, 4$; A_{n100} – амплитуда колебаний тангенциальной силы на гармониках $n \cdot 100$ Гц; A_{100} – амплитуда колебаний тангенциальной силы на гармонике 100 Гц; x – частота, Гц.

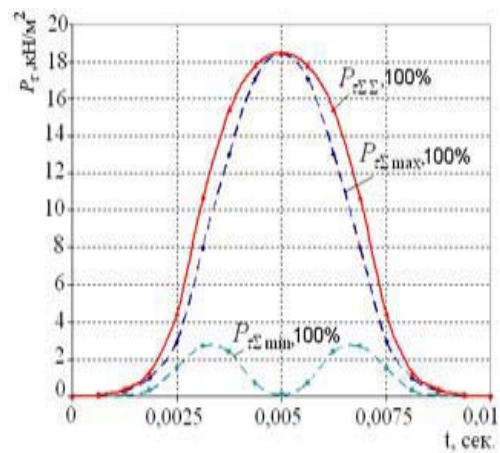


Рис. 2. Значение $P_{\Sigma\Sigma}$ для 100 % несимметрии тока

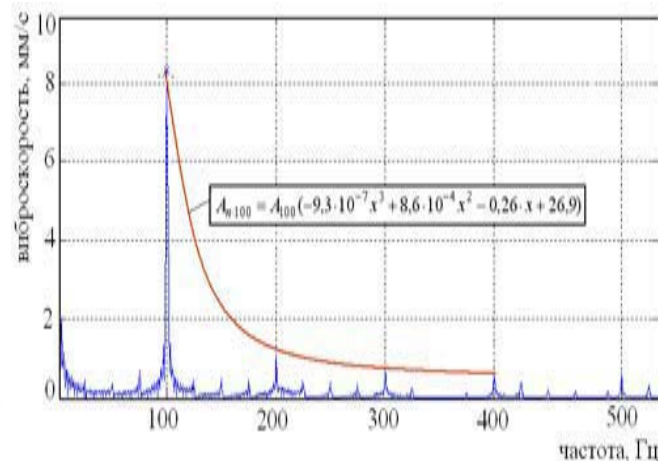


Рис. 3. Спектр результирующей силовой функции $P_{\Sigma\Sigma}$

При интегрировании распределенной радиальной силы p_r по всему кольцевому зазору получим силу электромагнитного притяжения ротора к статору, при интегрировании p_r в пределах межполюсного деления, получим силы, деформирующие статор.

Таким образом, выявлены дополнительные вибрационные признаки несимметрии тока в фазах: наличие в спектре виброскорости не только составляющей на двойной частоте сети 100 Гц, но и ее первых 2–3-х гармоник на частотах 200, 300, 400 Гц убывающей амплитуды. При значительной несимметрии вокруг этих гармоник появляются модуляционные составляющие с частой вращения ротора (рис. 4).

Табл. 1. Сравнение результатов регрессии для l

Модель	R ²	СКО*2	df
Множественная линейная регрессия			
all	0,8985	0,1976	17
forwardstepwise	0,8982	0,19780	13
backwardstepwise	0,8917	0,206	9
Множественная полиномиальная регрессия			
all	0,929754	0,1564	34
forwardstepwise	0,929930	0,16420	16
backwardstepwise	0,930564	0,1622	13

Табл. 2. Сравнение результатов регрессии для a

Модель	R ²	СКО*2	df
Множественная линейная регрессия			
all	0,75527	0,2976	17
forwardstepwise	0,75788	0,29880	13
backwardstepwise	0,7339	0,3188	5
Множественная полиномиальная регрессия			
all	0,857675	0,2178	34
forwardstepwise	0,839213	0,24520	19
backwardstepwise	0,858102	0,2256	10

Из табл. 1 и 2 видно, что наименьшая погрешность достигается при использовании в модели всех переменных, но при уменьшении количества переменных в анализе с исключением и добавлением величина разброса и R^2 ухудшаются незначительно, а стабильность модели и устойчивость к шуму улучшаются. Поэтому была выбрана модель с наименьшим числом переменных и наименьшей ошибкой – пошаговая полиномиальная регрессия с исключением переменных.

В работе был разработан алгоритм автоматизированной обработки данных ФАР при контроле усталостных трещин, для чего проанализирована база модельных сигналов от 234 трещин с различными параметрами. В ходе работы было предложено использовать в качестве признаков сигнала параметры смеси двумерных функций Гаусса и было установлено, что наименьшую погрешность в определении параметров трещины дает полиномиальная регрессионная модель с исключением переменных.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ультразвуковая дефектометрия металлов с применением голографических методов / В. Г. Бадалян [и др.]; под ред. А. Х. Вopilкина. – М. : Машиностроение, 2008.

В. И. ПОПЕЧИЦ
 НИУ «ИНСТИТУТ ПРИКЛАДНЫХ ФИЗИЧЕСКИХ ПРОБЛЕМ
 им. А. Н. Севченко» БГУ
 Минск, Беларусь

Растворы органических красителей в органических и неорганических растворителях, в полимерных матрицах имеют интенсивные полосы поглощения в видимой области спектра. В работах [1–3] было показано, что под воздействием ионизирующего излучения многокомпонентные растворы красителей изменяют цвет. Изменение цвета раствора зависит от исходной концентрации и химической природы красителей, физико-химических свойств растворителя, спектрального состава и дозы, воздействовавшего на раствор ионизирующего излучения.

Если между источником ионизирующего излучения и многокомпонентным раствором красителей поместить материал или изделие любого состава и структуры, то изменение цвета раствора в определенном месте будет коррелировать с радиационной дозой, воздействовавшей на данный участок раствора. Таким образом, по цветовой структуре отпечатавшегося на растворе изображения материала или промышленного изделия можно судить о внутренней структуре объекта исследования (о наличии полостей, вкраплений и других дефектов) [3, 4.]

В данной работе исследованы спектрально-оптические и определенные физико-химические свойства необлученных и облученных многокомпонентных растворов красителей различных классов с целью создания на их основе регистрирующих сред, наиболее пригодных для применения в дефектоскопии материалов и промышленных изделий.

Многокомпонентные растворы красителей облучались на гамма-установке "МРХ -25М", в которой в качестве источника гамма излучения используется ^{60}Co . Мощность дозы облучения изменялась в диапазоне 2–0,5 Гр/с. На спектрофотометре PV 1251 "Solar" перед облучением, непосредственно после облучения и через определенное время после облучения записывались спектры поглощения растворов. Максимальная оптическая плотность необлученных растворов составляла 2,2–2,5.

Одним из простейших многокомпонентных растворов является трехкомпонентный раствор, состоящий из растворителя и двух красителей, один из которых поглощает в длинноволновой области видимого спектра, а другой – в коротковолновой. В качестве примера на рис. 1 представлены спектры поглощения водного раствора двух красителей триафлавин + малахитовый зеленый необлученного и облученного в течение различного времени.

$$\begin{aligned}
 p_r = & 0,5 \cdot [A_1 B_1 \cos(2p\vartheta - 2\omega_1 t - \varphi_{a1} - \varphi_{b1}) + A_1 B_1 \cos(\varphi_{b1} - \varphi_{a1}) + \\
 & + A_1 B_2 \cos(2p\vartheta - \varphi_{a1} - \varphi_{b2}) + A_1 B_2 \cos(2\omega_1 t + \varphi_{a1} - \varphi_{b2}) + \\
 & + A_2 B_1 \cos(2p\vartheta - \varphi_{a2} - \varphi_{b1}) + A_2 B_1 \cos(2\omega_1 t - \varphi_{a2} + \varphi_{b1}) + \\
 & + A_2 B_2 \cos(2p\vartheta + 2\omega_1 t - \varphi_{a2} - \varphi_{b2}) + A_2 B_2 \cos(\varphi_{b2} - \varphi_{a2}); \\
 p_r = & \frac{1}{4\mu_0} \cdot [(B_1^2 + B_2^2) + B_1^2 \cos 2(p\vartheta - \omega_1 t - \varphi_{b1}) + B_2^2 \cos 2(p\vartheta + \omega_1 t - \varphi_{b2})] + \\
 & + \frac{1}{2\mu_0} \cdot [B_1 B_2 \cos(2p\vartheta - \varphi_{b1} - \varphi_{b2}) + B_1 B_2 \cos(2\omega_1 t + \varphi_{b1} + \varphi_{b2})] .
 \end{aligned} \tag{9}$$

После интегрирования по угловой координате ϑ выражения вращающего момента: $M_{вр} = 2\pi R^2 l \int_0^{2\pi} p_r d\vartheta$, получим:

$$\begin{aligned}
 M_{вр} = & \pi R^2 l [A_1 B_1 \cos(\varphi_{b1} - \varphi_{a1}) + A_2 B_2 \cos(\varphi_{b2} - \varphi_{a2}) + \\
 & + A_1 B_2 \cos(2\omega_1 t + \varphi_{a1} - \varphi_{b2}) + A_2 B_1 \cos(2\omega_1 t - \varphi_{a2} + \varphi_{b1})]
 \end{aligned}$$

Уравнение вращающего момента содержит постоянные и периодически изменяющиеся от времени составляющие с удвоенной круговой частотой сети. На рис.1 приведен график изменения этих составляющих вращающего момента от степени несимметрии тока в фазах I_2 / I_1 , (I_1, I_2 – токи прямой и обратной последовательности) для электродвигателя экспериментальной установки.

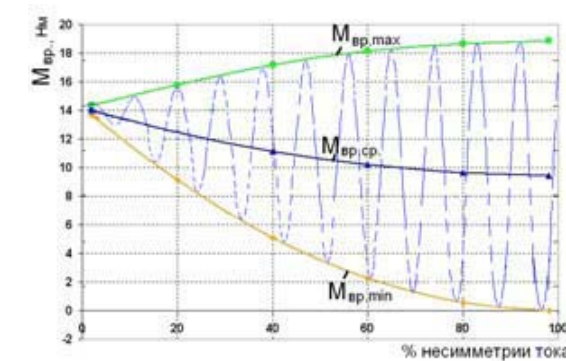


Рис. 1. График изменения вращающего момента электродвигателя АИР90L4У3 от несимметрии тока одной фазы

Интегрирование тангенциальной силы по частям в пределах половины периода $T/2$, т.е. в пределах половины полюсного деления $\vartheta_0 = 0; \vartheta_1 = \pi/4$ (при числе пар полюсов $p = 2$) в общем интервале $\vartheta = 0 \div \pi/2$, дает возможность перейти от распределенной по кольцевому зазору системы тангенциальных сил P_r к двум эквивалентным сосредоточенным силам: $P_{z\Sigma\max}$ и $P_{z\Sigma\min}$ (рис. 2), приложенным на межполюсном делении с угловым интерва-

А. В. ЛУКЬЯНОВ, А. И. РОМАНОВСКИЙ
ФГБОУ ВПО «ИРКУТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ПУТЕЙ СООБЩЕНИЯ»
Иркутск, Россия

В реальных условиях эксплуатации асинхронного электропривода вспомогательных машин электровоза часто его отдельные фазы нагружены несимметрично в силу ряда внутренних и внешних причин. Электромагнитные силы, действующие в воздушном зазоре между статором и ротором асинхронных электродвигателей, имеют характер вращающихся или пульсирующих силовых волн. Максимальная вибрация возбуждается основной волной вращающегося магнитного поля. Несимметрия фазных токов приводит к возрастанию тангенциальной вибрации и пульсирующего вращающего момента на удвоенной частоте сети. Радиальные силы также способствуют деформации и колебаниям статора.

Рассмотрим механизм возникновения моментов и радиальной вибрации при несимметрии фазного тока. Значение и распределение радиальных и тангенциальных магнитных сил в воздушном зазоре определяется как [1]:

$$p_r = 4 \cdot 10^5 \cdot b^2(\vartheta, t); \quad p_r = a(\vartheta, t) \cdot b(\vartheta, t) \cdot 10^2,$$

где $a(\vartheta, t)$ – линейная токовая нагрузка статора или ротора; $b(\vartheta, t) = f(\vartheta, t) \cdot \Lambda(\vartheta, t)$ – магнитная индукция в воздушном зазоре в точке с координатой ϑ в момент времени t ; $f(\vartheta, t)$ и $\Lambda(\vartheta, t)$ – мгновенные значения результирующей м.д.с. обмоток статора и ротора и магнитной проводимости зазора.

$$a(\vartheta, t) = A_1 \cos(p\vartheta - \omega_1 t - \varphi_{a1}) + A_2 \cos(p\vartheta + \omega_1 t - \varphi_{a2});$$

$$b(\vartheta, t) = B_1 \cos(p\vartheta - \omega_1 t - \varphi_{b1}) + B_2 \cos(p\vartheta + \omega_1 t - \varphi_{b2}),$$

где A_1, A_2, B_1, B_2 – линейная токовая нагрузка статора и индукция результирующего магнитного поля в воздушном зазоре прямого и обратного следования фаз; p – число пар полюсов, $\omega_1 = 2\pi f_c$; f_c – частота сети (50 Гц); $\varphi_{a1}, \varphi_{a2}$ – фазы прямого и обратного тока статора; $\varphi_{b1}, \varphi_{b2}$ – фазы индукции магнитного поля в зазоре прямого и обратного следования фаз. Получены точные значения тангенциальных p_r и радиальных p_r сил:

Из рис. 1 видно, что при увеличении времени облучения раствора (дозы облучения) изменяется его цвет, приближаясь к цвету раствора более радиационно-стойкого красителя (в данном случае – триафлавина).

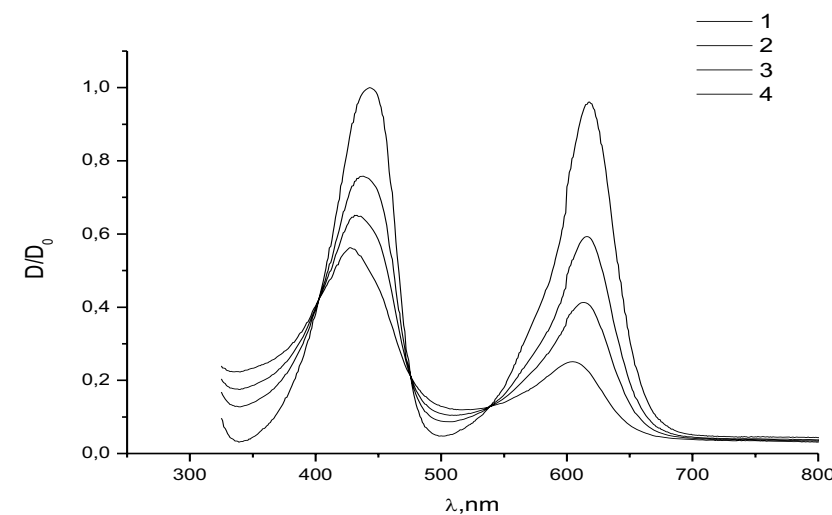


Рис. 1. Спектры поглощения раствора триафлавина + малахитовый зеленый в воде необлученный раствор (1), облученный в течение 5 (2), 10 (3), 15 (4) мин. Мощность экспозиционной дозы облучения – 0,63 Гр/с

На рис. 2 в полулогарифмическом масштабе представлена зависимость нормированной интенсивности поглощения в максимуме длинноволновых полос поглощения красителей от времени облучения трехкомпонентного раствора, из которого видно, что радиационная деструкция красителей экспоненциально зависит от времени облучения раствора.

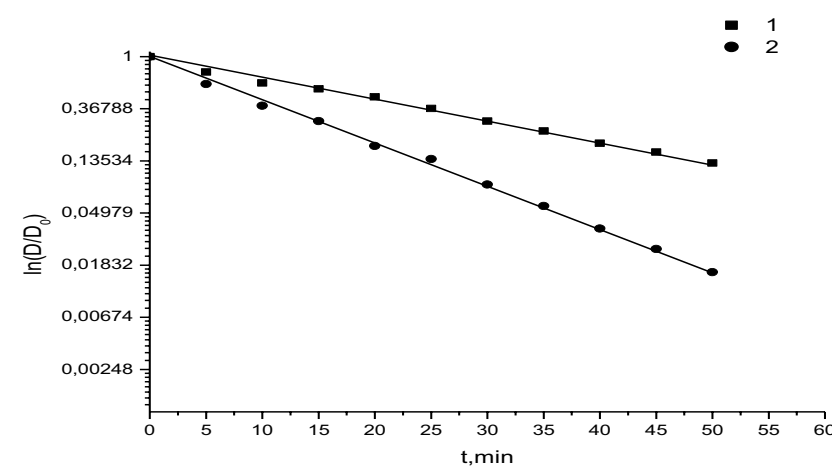


Рис. 2. Зависимость нормированной интенсивности поглощения в максимуме длинноволновых полос раствора фуксин основание (1) + метиленовый голубой (2) в воде от времени облучения раствора (в минутах). Мощность экспозиционной дозы облучения – 0,63 Гр/с

При использовании трехкомпонентного раствора красителей в качестве регистрирующей среды для целей дефектоскопии необходимо, чтобы краси-

тели в данном растворе имели существенно различающиеся скорости радиационной деструкции (в этом случае изменения цвета соседних участков раствора будут наиболее чувствительны к изменению величин радиационных доз, воздействовавших на эти участки), обладали низким федингом, т.е. чтобы изменения цвета облученных участков раствора после прекращения воздействия радиации были минимальными. По этим параметрам из исследованных водных и водно-этанольных трехкомпонентных растворов наиболее пригодными для использования в качестве регистрирующих сред, при проведении дефектоскопии материалов и изделий, оказались растворы следующих пар красителей: трипафлавин + малахитовый зеленый, кислотный алый + метиленовый голубой, фуксин основание + метиленовый голубой, флуоресцеин + метиленовый голубой, эозин + малахитовый зеленый, эозин + кислотный зеленый антрахиноновый H₂C, родамин С + малахитовый зеленый, родамин С + бриллиантовый зеленый. Указанные красители в водных и водно-этанольных растворах также химически не взаимодействовали друг с другом и с образующимися в растворе продуктами радиационной деструкции.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Гончаров, В. К.** Исследование воздействия высокоэнергетического излучения на вещество с целью создания новых материалов и технологий / В.К.Гончаров [и др.] // Вестник БГУ. – Серия 1. – 2010. – № 1. – С. 3–10.
2. **Попечиц, В. И.** Визуализаторы ионизирующих излучений на основе растворов арилметановых красителей / В. И. Попечиц // Прикладные проблемы оптики, информатики, радиофизики и физики конденсированного состояния: материалы междунар науч.-практ. конф., посвященной 40-летию НИИПФП им. А.Н. Севченко БГУ – Минск : НИИПФП им. А. Н. Севченко БГУ, 2011. – С. 57–58.
3. **Попечиц, В. И.** Применение многокомпонентных растворов красителей для неразрушающего радиационного контроля материалов и изделий / В. И. Попечиц // Взаимодействие излучений с твердым телом: материалы 9-й междунар. конф. – Минск: БГУ, 2011. – С. 444–445.
4. **Попечиц, В. И.** Регистрирующие среды на основе трехкомпонентных растворов ксантеновых красителей для метода неразрушающего контроля / В. И. Попечиц // Приборостроение – 2011: материалы 4-ой междунар. науч.-техн. конф. – Минск: БНТУ, 2011. – С. 140–141.

E-mail: Papechyts@bsu.by

5) в розетках удаляются контакты С31, С29, С27, С25 и т.д. до С1. Измеряется сила сочленения 79 контактной, 78 контактной, 77 контактной, 75 контактной и т.д. розетки с 96 контактной вилкой;

6) в розетках удаляются контакты А31, А29, А27, А25 до А1. Измеряется усилие сочленения 63 контактной, 62 контактной, 61 контактной и т.д. до 48 контактной розетки с 96 контактной вилкой;

7) на двух розетках контролировать максимальные рабочие напряжения по методике, изложенной в отраслевом стандарте (ОСТ);

8) в розетках удаляются контакты В31, В29, В27 и т.д. до В1. Измеряется усилие сочленения 47 контактной, 46 контактной, 45 контактной и т.д. до 32 контактной розетки с 96 контактной вилкой;

9) в розетках удаляются контакты С32, С30 и т.д. до С2. Измеряется усилие сочленения 31 контактной, 30 контактной и т.д. до 16 контактной розетки с 96 контактной вилкой;

10) обработка результатов, получение экспериментальной зависимости.

Определительные испытания были проведены на базе испытательной лаборатории предприятия - изготовителя электрических соединителей.

В результате проведения определительных испытаний получена эмпирическая формула силы сочленения прямоугольных электрических соединителей с произвольным количеством контактных пар.

Данная формула позволяет рассчитать действительное значение силы сочленения, которое обеспечивается технологическими возможностями предприятия и оценить степень соответствия технологии предприятия требованиям заказчика.

Обработка опытных данных позволила получить коэффициент, с помощью которого можно рассчитать действительное значение усилия сочленения и уточнить требования заказчика к этой характеристике:

$$F_{\text{доп}} = k_2 \cdot N \quad (2)$$

где k_2 – коэффициент, полученный по результатам испытаний ($k_2 = 0,0765$).

Анализ результатов исследований показывает, что требования заказчика выполняются для всех соединителей, выпускаемых предприятием.

При сопоставлении допустимого значения силы сочленения с её действительными значениями рассчитан коэффициент запаса $k_3 = 0,32$. Его значение постоянно для любого количества контактных пар, следовательно, технология их производства стабильна и удовлетворяет заказчика.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Мышкин, Н. К.** Электрические контакты / Н. К. Мышкин, В. В. Кончиц, М. Браунович. – Долгопрудный : Изд. дом «Интеллект», 2008. – 560 с.

E-mail: pms35vm@yandex.ru

при замыкании контактных пар. Эти два требования противоречат друг другу, поэтому для соединителей задаются оптимальные значения силы сочленения, которые контролируются у готовых разъёмов при проведении приёмочного контроля. В нормативных документах (ГОСТ, ТУ) усилие сочленения задаётся на разъём в целом. Для прямоугольных электрических соединителей, в которых на изоляторе может быть расположено произвольное количество контактных пар – от нескольких штук до нескольких сотен – такого нормирования недостаточно. Если по просьбе заказчика необходимо обеспечить поставку прямоугольных электрических соединителей с количеством контактных пар меньшим, чем количество в нормальном исполнении, изготовитель должен предоставить объективные доказательства того, что действительное значение усилия сочленения не будет меньше допустимого значения. Другими словами, разъём с неполным набором контактных пар должен иметь усилие сочленения в пределах допустимых значений.

При заключении договора на поставку соединителей типа СПН 306 заказчик задаёт верхний предел силы сочленения $F_{\text{доп}}$, которое зависит от количества контактных пар в разъёме. Действительное значение силы сочленения $F_{\text{д}}$ не должно быть больше допустимого значения, для расчёта которого заказчик задаёт формулу:

$$F_{\text{доп}} = k_1 \cdot N, \quad (1)$$

где $F_{\text{доп}}$ – верхний предел допустимого силы сочленения, кгс; N – количество контактных пар в разъёме; k_1 – коэффициент, заданный заказчиком ($k_1 = 0,1125$).

В технических условиях сила сочленения задаётся на разъём в целом. Если по просьбе заказчика необходимо обеспечить поставку соединителей с нестандартным количеством контактных пар, изготовитель должен предоставить доказательства того, что значение силы сочленения не будет меньше допустимого.

Чтобы проверить способность предприятия выполнить требования заказчика, проведены испытания соединителей на силу сочленения. Целью испытаний стало получение экспериментальной зависимости силы сочленения от числа контактных пар в разъёме. Содержание методики:

1) измерение силы расчленения контактов с контрольным калибром проводится в соответствии с отраслевым стандартом электронной промышленности;

2) измеряется сила сочленения на 96 контактных парах для 5 соединителей (вилка и розетка);

3) в каждой розетке удаляется контакт В32. Измеряется сила сочленения для 95 контактов розетки и 96 контактов вилки;

4) в розетках удаляются контакты В30, В28, В26 и т.д. до В2. Измеряется сила сочленения 94 контактной, 93 контактной, 91 контактной и т.д. до 80 контактной розетки с 96 контактной вилкой;

УДК 621.385

УЛЬТРАЗВУКОВОЙ КОНТРОЛЬ СВАРНЫХ ШВОВ НЕФТЕПРОВОДА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ФАЗИРОВАННЫХ РЕШЁТОК

А. А. ПРОХОРЕНКО, В. В. ВОРОБЬЁВ
ОАО «ГОМЕЛЬТРАНСНЕФТЬ ДРУЖБА»
Гомель, Беларусь

В ОАО «Гомельтранснефть Дружба» одно из центральных мест в системе технического обслуживания нефтепроводов заняла внутритрубная диагностика (ВТД). На основе информации, получаемой внутритрубными инспекционными снарядами, стало возможно оценивать техническое состояние трубопровода, определять безопасные технологические режимы перекачки нефти, устанавливать необходимость вывода трубопровода в ремонт, а также оценивать качество и эффективность проводимых мероприятий по поддержанию надёжности и работоспособности трубопроводов. Но, тем не менее, в ряде случаев, для получения дополнительной информации о дефекте, а также для подтверждения данных ВТД необходимо применять дополнительный дефектоскопический контроль (ДДК).

Задачей ДДК является детальное изучение выявленных при ВТД дефектов сварных швов и основного металла труб. Основным неразрушающим методом контроля при проведении ДДК является ручной ультразвуковой контроль (УЗК). Однако УЗК имеет ряд недостатков, основным из которых является невозможность измерить истинные, а не условные размеры дефектов и использование амплитуды эхо-сигнала от дефекта, как основного информационного параметра, по которому выполняется оценка характеристик выявленного дефекта. Для преодоления данных ограничений УЗК в ОАО «Гомельтранснефть Дружба» при проведении ДДК с 2006 года начали применять ультразвуковой прибор Х-32 HARFANG, работающий с фазированной решётки (ФАР). Принцип работы ФАР, основан на использовании в качестве излучателя ультразвука преобразователя, состоящего из большого количества (обычно 16–32 шт.) узких элементов шириной менее длины волны, с индивидуальным возбуждением каждого элемента со сдвигом во времени (рис. 1).

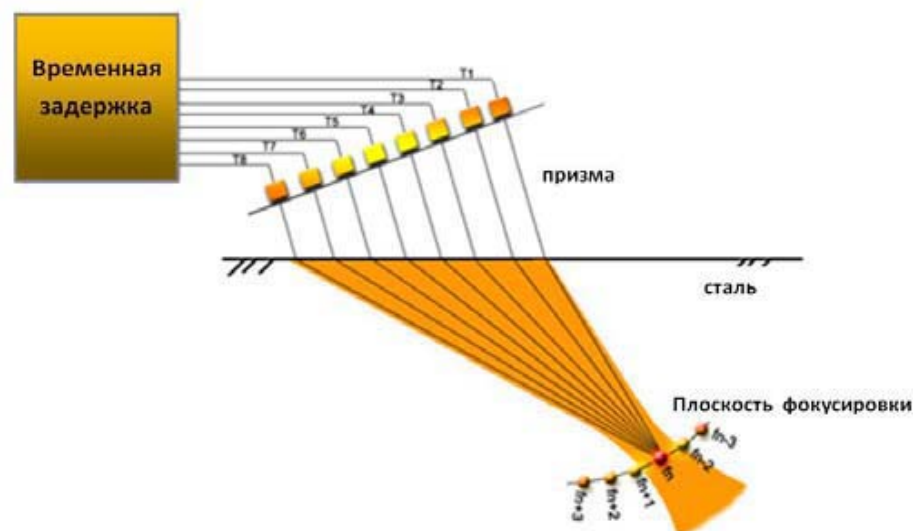


Рис. 1. Схема ультразвукового контроля с использованием фазированной решётки

В результате становится возможным управление характеристиками звукового поля. При одном положении ФАР с большим числом элементов (до 128 шт.) можно имитировать сканирование поверхности прямым преобразователем (рис. 2, а). Возбудить в контролируемом изделии наклонную поперечную волну, угол которой можно изменять, управляя сдвигом фазы (рис. 2, б). При желании ультразвуковой пучок можно сфокусировать (рис. 2, в). Одновременно можно подавить боковые лепестки характеристики направленности изменением амплитуды сигнала. В режиме приёма такой преобразователь равноценен преобразователю с переменным углом ввода [1].

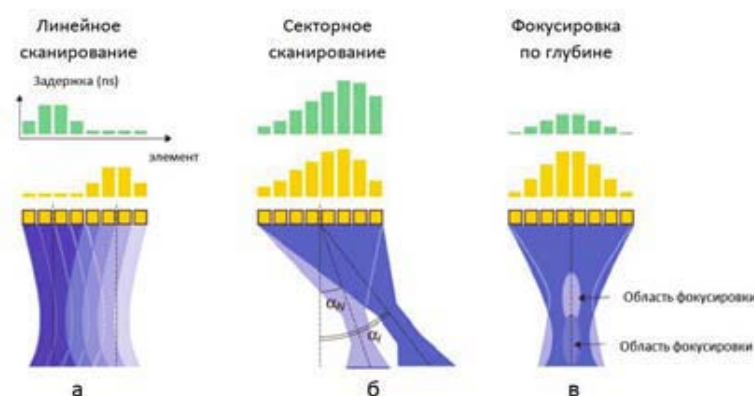


Рис. 2. Схема управления ультразвуковыми волнами при линейном и секторном сканировании ФАР

Программное обеспечение прибора X-32 позволяет представлять на экране данные в реальном времени в виде А-, В-, С- и S- развёрток с кодированной цветом амплитудой (Рис. 3, 4).

УДК 620.179
**ПРОГНОЗИРОВАНИЕ СИЛЫ СОЧЛЕНЕНИЯ ПРЯМОУГОЛЬНЫХ
 ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СОЕДИНИТЕЛЕЙ С ПРОИЗВОЛЬНЫМ
 КОЛИЧЕСТВОМ КОНТАКТНЫХ ПАР ПО РЕЗУЛЬТАТАМ
 ОПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ ИСПЫТАНИЙ**

Л. И. ЛЕБЕДЕВА, П. П. БЕЛИКОВ
 Ф-л ФГБОУ ВПО «ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
 УЧЕБНО-НАУЧНО-ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ КОМПЛЕКС»
 Карачев, Россия

Электрические соединители (разъёмы) являются частью любого электронного устройства. Они представляют собой сочетание электрических и механических деталей, испытывающих значительные нагрузки. Отказ разъёмов может привести к потере работоспособности всего изделия, и к показателям их надёжности предъявляются высокие требования [1].

Целью определительных испытаний являлось прогнозирование силы сочленения прямоугольных электрических соединителей с произвольным (нестандартным) количеством контактных пар. Результатом испытаний стала эмпирическая формула для расчёта силы сочленения прямоугольных электрических соединителей с произвольным количеством контактов (контактных пар), которая предназначена для оценки соответствия технологических возможностей предприятия требованиям заказчиков. Объектами испытаний являлись электрические соединители типа СНП 306.

Соединители СНП 306 – вилки для печатного монтажа, розетки для печатного и объёмного монтажа методом накрутки и пайки – предназначены для соединения цепей постоянного, переменного и импульсного токов в электронно-вычислительной аппаратуре, в радиоэлектронной аппаратуре общепромышленного и бытового применения и других изделиях электронной техники. Соединители типа СНП 306 выпускаются на изоляторах четырех типоразмеров – (двухрядные с шагом 2,5 мм и 2,54 мм, трёхрядные с шагом 2,5 мм и 2,54 мм) с числом контактов: двухрядные – 64, 48, 40, 32, 16 контактов, трёхрядные – 96, 64, 48, 32, 16 контактов.

По просьбе заказчика может быть обеспечена поставка соединителей с произвольным количеством контактных пар (от 1 до 96). Различное число контактов достигается путем соответствующего их расположения в изоляторе. Соединители СНП 306 – аналоги соединителей СНП 58, СНП 59, СНО 63, СНО 64 и DIN 41612.

Одной из основных технических характеристик соединителей является сила сочленения. С одной стороны, она должна быть большой, чтобы обеспечить удаление окисных плёнок при замыкании контактных пар и их неподвижность в замкнутом состоянии. А с другой стороны, она должна быть малой, чтобы обеспечить минимальный износ электропроводного покрытия

- встроенная спутниковая навигационная система;
- накопление полученной информации во флэш-памяти;
- сервисная программа для обработки, накопленной во флэш-памяти информации, и построения карты пройденного маршрута обследования с отображением пройденного расстояния в метрах и амплитуды сигнала;
- исследование трубопровода с использованием «ZOND-M» производится одним оператором и не требует изменения режима эксплуатации трубопровода.

Исследование трубопровода с использованием «ZOND-M» на ОАО «Томскнефть» (на примере участка напорного нефтепровода УПН Крапивинское – ЦПС Игол) производилось одним оператором и не потребовали изменения режима эксплуатации трубопровода.

Экономический эффект от применения бесконтактного метода диагностики обуславливают возможность проводить обследование действующего трубопровода без изменения режима эксплуатации; значительное снижение затрат на мониторинг состояния трубопровода; своевременное обнаружение скрытых дефектов; обнаружение криминальных врезок.

Проведение испытаний по диагностике действующего трубопровода с поверхности грунта бесконтактным методом ОАО «Томскнефть» показало, что внедрение систем, позволяющих проводить бесконтактную диагностику (типа «ZOND-M»), позволит решить следующие задачи: упростить способ диагностики, удешевить затраты на аппаратуру (стоимость подобного прибора составляет около 380 тыс. р), повысить достоверность обнаружения дефектов, уменьшить время обследования трубопровода. Все это позволит проводить диагностику действующего трубопровода без вмешательства в технологический процесс.

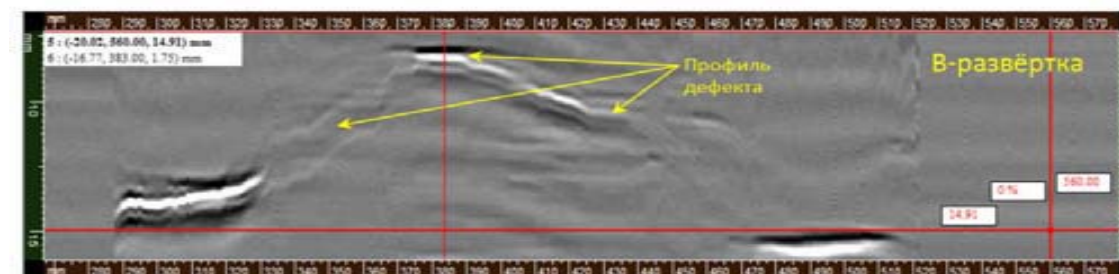


Рис. 3. Представление данных линейного сканирования при контроле прямым лучом продольного сварного шва ФАР на 7,5 МГц, 31 элемент

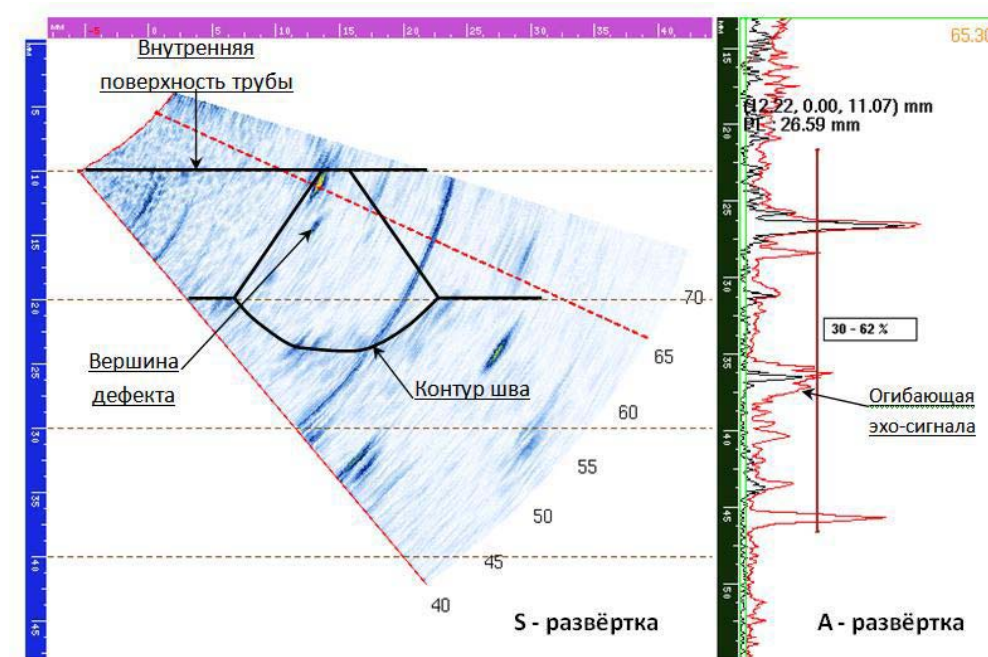


Рис. 4. Представление данных секторного сканирования при контроле кольцевого сварного шва ФАР на 7,5 МГц 39 элементов

За пять лет применения технология ультразвукового контроля с использованием ФАР показала свою высокую эффективность при проведении ДДК. Основными объектами контроля являются кольцевые и продольные сварные швы нефтепроводов Ду 600 и Ду 800 с аномалиями и потерями металла по классификации ВТД [2] с размерами, превышающими допустимые значения по ВСН 012-88. Основной целью контроля является определение степени опасности, реальных размеров дефектов и сравнение их с данными ВТД, а также определение типа дефекта (непровар, включение и т.д.). Контроль проводится 30 элементным ФАР с частотой 7,5 МГц, с изменяющимся углом ввода с 45° до 70° (секторное сканирование) и дополнительно для продольных швов 32 элементным ФАР с частотой 7,5 МГц, с углом ввода 0° (продольные волны). Перед проведением контроля, прибор настраивают по глубине на боковом сверлении Ø 1,5 мм в образце для настройки. А также настраивают область фокусировки луча таким образом, чтобы фокус прихо-

дился на центр шва. В качестве примера (рис. 5, 6) приведены обобщённые результаты по контролю 25 кольцевых сварных швов и 15 продольных швов труб нефтепровода.

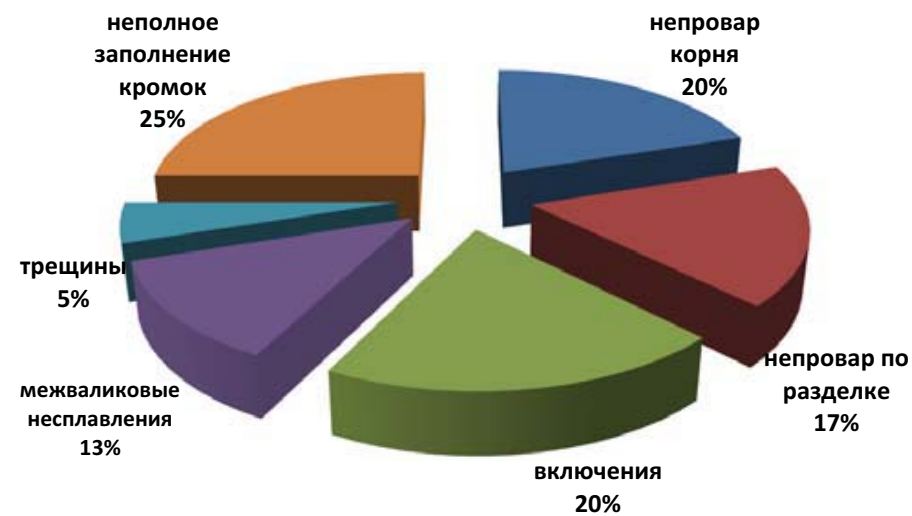


Рис. 5. Классификация дефектов обнаруженных при ДДК по типам

Полученные данные позволяют сделать вывод о том, что большая часть (не менее 57,5 %) обнаруженных дефектов появилась в сварных швах при строительстве нефтепровода, а 37,5 % дефектов появилось при изготовлении труб на заводе (дефекты продольного шва). Так же имеются дефекты, которые могли развиться при эксплуатации нефтепровода (5 %). В результате измерения геометрических размеров несплошностей большинство сварных соединений – 65 % было допущено в эксплуатацию без ремонта, так как размеры выявленных дефектов, не превышают допустимые значения по ВСН 012-88 (рис. 6).

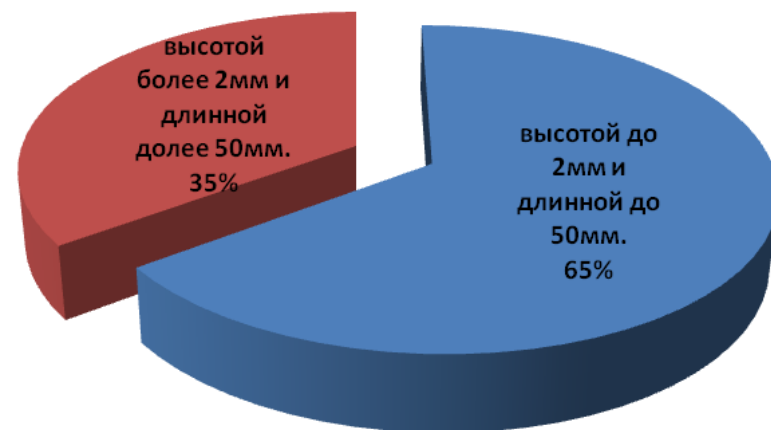


Рис. 6. Распределение дефектов обнаруженных при ДДК по протяжённости и высоте

Снаряд вводится в контролируемый трубопровод через специальную камеру пуска-приемки, проходит по трубе сотни километров, накапливая информацию о ее состоянии в бортовой памяти, а затем извлекается через аналогичную камеру. После выгрузки снаряда, информация считывается на внешний терминал, а затем поступает на сервер базы данных, расшифровывается, обрабатывается программой обработки данных, анализируется оператором и представляется в виде отчета.

Программное обеспечение позволяет автоматически выделить области аномалий трубы, идентифицировать до 15 классов аномалий, (трещины, коррозионные поражения и т.д.), определить местоположение и размеры дефектов.

Недостатками внутритрубной диагностики является наличие камер пуска и приема внутритрубных снарядов, а также необходимость наличия специального оборудования и присутствия квалифицированных специалистов.

Принцип действия бесконтактной диагностики трубопровода заключается в измерении магнитной индукции непосредственно над трубопроводом с поверхности грунта.

Бесконтактное (с поверхности земли) обнаружение участков трубопровода с дефектами металла и сварных соединений (трещины и трещиноподобные дефекты, дефекты сварных швов, дефекты коррозии, изменения толщины стенок труб, вмятины, гофры и др.), а также чопиков и криминальных врезок предлагается производить высокочувствительным магнитометром «ZOND-M» (ООО «УНТЦ «БИНАПРО»), который испытан в ОАО «Уралтранснефтепродукт» и других предприятиях. Диагностика технического состояния трубопроводов бесконтактным магнитометрическим методом с помощью комплекса «ZOND-M» осуществлялась по РД 102-008-2002.

Область применения магнитометра «ZOND-M» – подземные стальные трубопроводы любого назначения диаметром 4–58 дюймов (114–1420 мм). «ZOND-M» позволяет в автоматическом режиме контролировать и записывать магнитограмму трубопровода с одновременной записью пройденного пути с помощью встроенного GPS навигатора (географические и метрические координаты). Запись информации производится на флэш-карту с USB разъёмом. В программу встроена экспертная система обнаружения магнитных аномалий, способная по данным результатов сканирования с большой долей вероятности интерпретировать данные, расположенные в зоне действия такой аномалии.

«ZOND-M» включает в себя такие высокотехнологичные решения, как:

- чувствительная антенная система, выполненная по новой технологии с использованием тонкоплёночных нанокристаллических материалов;
- высокопроизводительные контроллеры, встроенные в антенный узел и вторичный прибор, связанные между собой по I2C интерфейсу, позволяющему производить помехоустойчивую передачу сигналов антенного узла во вторичный прибор;

ДИАГНОСТИКА ДЕЙСТВУЮЩЕГО ТРУБОПРОВОДА
С ПОВЕРХНОСТИ ГРУНТА БЕСКОНТАКТНЫМ МЕТОДОМ

Д. А. КУДРЯВЦЕВА, * А. Н. КУДРЯВЦЕВ, М. Г. МЯСНИКОВА
ФБГОУ ВПО «ПЕНЗЕНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

*ОАО «ТОМСКНЕФТЬ»

Пенза, Томск, Россия

При диагностике поверхности трубопровода используются следующие способы обнаружения дефектов: термооптический, ультразвуковой, электромагнитный, тензорезисторный и др. К дефектам трубопровода относятся нарушения сплошности или однородности структуры материала трубы (наличие трещин), зоны коррозионного поражения, отклонения размеров и др.

Внутритрубная диагностика трубопроводов основана на использовании автономных приборов-дефектоскопов (поршней, pigs), движущихся внутри контролируемой трубы под напором перекачиваемого продукта (нефть, нефтепродукты, газ и т. п.). Снаряд снабжен аппаратурой (обычно ультразвуковой или магнитной) для неразрушающего контроля трубы, записи и хранения в памяти данных контроля и вспомогательной служебной информации, а также источниками питания аппаратуры.

Измерительная часть прибора состоит из множества датчиков (сенсоров), расположенных так, чтобы зоны чувствительности датчиков охватывали весь периметр трубы. Это позволяет избежать пропуска дефектов трубы. Датчики ультразвукового прибора излучают ультразвук в тело трубы и принимают отраженные дефектами сигналы. В магнитном приборе ферромагнитный материал трубы намагничивается постоянными магнитами до состояния близкого к техническому насыщению, а потоки рассеяния, вызванные дефектами, регистрируются магниточувствительными датчиками (например, датчиками Холла).

Ультразвуковые приборы используют обычно для контроля труб нефтепроводов, поскольку для прохождения ультразвука необходим акустический контакт датчиков с трубой, обеспечиваемый нефтью. Магнитные приборы применяют для контроля как нефте-, так и газопроводов.

Для прохождения изгибов трубопровода магнитный прибор-дефектоскоп состоит из трех секций, соединенных между собой шарнирно. Постоянные магниты, размещенные на двух кольцах средней секции, создают в трубе продольный магнитный поток между двумя кольцами стальных проволочных щеток, скользящих по внутренней поверхности трубы. Кольцо с пружинными держателями блоков датчиков расположено между кольцами щеток, обеспечивая скольжение датчиков по поверхности трубы. Полиуретановые манжеты служат для создания перепада давления перед и позади прибора, чем обеспечивается его движение в трубе.

Опыт проведения дополнительного дефектоскопического контроля показывает, что эквивалентные и условные размеры дефектов, определяемые при традиционном УЗК, не дают представление о степени их опасности и об остаточном ресурсе нефтепровода. Именно эксплуатационный измерительный контроль с применением технологии ультразвукового контроля с ФАР позволяет получить наибольший технико-экономический эффект за счёт:

- уменьшения объёма необоснованного ремонта;
- возможности оценивать остаточный ресурс и управлять этим ресурсом, при наличии эксплуатационных норм на контроль;
- возможности создания новых технологий контроля на ранее не контролируемых объектах.

Выводы.

1. Применение технологии ультразвукового контроля с ФАР позволяет повысить выявляемость дефектов и достоверность результатов НК.
2. Измерение реальных геометрических размеров несплошностей позволяет повысить надёжность прочностных расчётов при оценке ресурса.
3. Необходимо разработать отраслевые нормативно-методические документы по эксплуатационным нормам и оценке остаточного ресурса труб.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Крауткреймер, Й. Ультразвуковой контроль материалов: справ. изд. : пер. с нем. / Й. Крауткреймер, Г. Крауткреймер. – М. : Металлургия, 1991. – 752 с.
2. РД 23.040.00-КНТ-090-07. Классификация дефектов и методы ремонта дефектов и дефектных секций действующих магистральных нефтепроводов.

УДК 620.179.14
СПОСОБ ФЕРРОЗОНДОВОЙ ДИАГНОСТИКИ НЕОДНОРОДНЫХ
ФЕРРОМАГНИТНЫХ ВКЛЮЧЕНИЙ

В. И. ПУДОВ
«ИНСТИТУТ ФИЗИКИ МЕТАЛЛОВ УрО РАН»
Екатеринбург, Россия

Разработка и усовершенствование средств и методов для контроля в не совершенной диэлектрической среде или в сталях аустенитного класса неоднородных по своим физико-механическим свойствам ферромагнитных включений (тел, частиц) является актуальной задачей в практике неразрушающего контроля.

В данной работе рассматривается решение проблемы нахождения и удаления инородных ферромагнитных тел, залегающих в не совершенной диэлектрической среде, в частности, в биоактивных органах человека. Решение этой проблемы во многом зависит от точности локализации места положения инородного тела. Применяемые в практике оперативной хирургии уточняющие методы диагностики (рентгеновский, ультразвуковой и другие) не дают полную картину локализации инородного ферромагнитного тела, что приводит к излишне необоснованной операционной травматичности.

Одно из перспективных направлений связано с феррозондовой диагностикой, позволяющей проводить операции, где процент успешного удаления инородных ферромагнитных тел (ИФТ) во много раз выше, по сравнению с традиционными методами, а операционная травматичность и послеоперационные осложнения существенно снижены [1–3].

Однако за прошедшее десятилетие в практике оперативной хирургии появились лапароскопические, малоинвазивные виды операций, позволяющие удалять мелкие металлические частицы. Поэтому требуется совершенствование методик применения феррозондовой аппаратуры.

С этой целью была разработана феррозондовая аппаратура с программным обеспечением работы цифробуквенного индикатора, а также может быть установлен стрелочный индикатор с нулем посередине шкалы, что позволяет наглядно определять знак градиента постоянного магнитного поля и дополнительная индикация – звуковая.

Функциональные и технические возможности феррозондового полюсоискателя ПФ-04 исследовались в широком диапазоне изменения размеров, формы и магнитной проницаемости, инородных ферромагнитных и слабоферромагнитных частиц и тел. Данная аппаратура позволяет индцировать неоднородность постоянного магнитного поля, действующего на феррозондовый датчик в диапазоне градиентов от 0,00032 до 0,8 А/см².

Для пограничной локализации инородных ферромагнитных тел или на большой глубине разработан однокомпонентный феррозондовый датчик-

Эксплуатационные свойства подшипников со смазкой заводского наполнения исследовались на разработанной установке на базе машины трения СМТ-1. Было установлено, что подшипники производства SKF, США обладают высоким уровнем контактного сопротивления (\approx мОм), что свидетельствует, с одной стороны, о малой площади контакта шариков с кольцами подшипников, и, как следствие, высокой твёрдости и прочности используемых подшипниковых сталей и высоком качестве обработки рабочих поверхностей, а с другой, о высоком качестве пластичных смазок, используемых в подшипниках.

В ходе эксперимента было установлено, что подшипники производства СНГ обладают контактным сопротивлением \approx кОм, что свидетельствует, с одной стороны, о недостаточной твёрдости и прочности используемых подшипниковых сталей, качестве обработки рабочих поверхностей и технологии производства подшипников, а с другой, о необходимости разработки новых смазок с триботехническими свойствами выше, чем у пластичной смазки SKF.

Авторами разработан стенд для входного контроля подшипников качения. Конструктивной особенностью стенда является использование для закрепления и нагружения подшипников системы из прямого и обратного конусов. Использование данной схемы позволяет самоцентрировать подшипник и проводить испытания с широким набором диаметров колец подшипника. Упорная схема нагружения для подшипников качения является наиболее тяжёлой, что дает возможность максимально приблизить испытания к натурным.

В процессе испытания подшипника, на данном стенде контролируются момент трения в подшипнике, акустические параметры; контактное сопротивление; температура (определяет энергетические потери при трении).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Короткевич, С. В.** Износостойкость металлов при граничном трении / С. В. Короткевич, В. Г. Пинчук, С. О. Бобович. – Гомель : ГГУ им. Ф. Скорины». – 2011. – 237 с.
2. **Короткевич, С. В.** Разрушение металлов при фрикционном взаимодействии / С. В. Короткевич [и др.] // Тяжёлое машиностроение. – 2008. – № 3 –С. 12–16
3. **Короткевич, С. В.** Диагностика смазочных материалов в подшипниковых узлах трения / С. В. Короткевич [и др.] // Чрезвычайные ситуации: образование и наука. – 2010. – Т. 5. – № 2. – С. 59–63

E-mail: korotsv@tut.by

2) динамическое равновесие между формированием и изнашиванием смазочных слоёв;

3) разрушение слоёв и преобладание «сухого» (без СМ) режима контактирования;

4) режим интенсивного окисления сопряжённых поверхностей и накопления им упругой энергии;

5) режим изнашивания поверхностей;

6) режим интенсивного селективного изнашивания поверхностей;

7) заклинивание подшипника.

Каждому этапу или состоянию подшипника соответствует определённое значение контактного сопротивления.

Так, снижение значения контактного сопротивления до $\approx 0,2 \div 0,5$ Ом означает начало разрушения мономолекулярной составляющей граничного смазочного слоя, снижение до ≈ 1 мОм означает начало интенсивного окисления, диспергирования, формирования развитой дислокационной структуры, приводящей к локальному во времени интенсивному изнашиванию поверхности и заклиниванию подшипника качения. Эти значения можно использовать в качестве критериев, которые позволяют на ранней стадии, до наступления критических разрушений подшипника, осуществлять в процессе эксплуатации контроль его состояния.

Была проведена оценка эксплуатационных свойств пластичных смазочных материалов различных производителей: Пролонг (США), SKF, Литол-24, МРУС-4, 158 М, Солидол (СНГ). Установлены особенности кинетики формирования и разрушения ГСС исследуемых пластичных смазок [3]. Анализ зависимости контактного сопротивления, температуры и коэффициента трения от нагрузки показал, что наиболее прочно связанный с поверхностью хемосорбированный слой формирует смазками SKF, Пролонг и Литол-24.

Показана инвариантность полученных результатов оценки эксплуатационных свойств пластичных смазок относительно направления прохождения электрического тока, что существенно упрощает использование электрической схемы для реальных трибосопряжений на практике, например, для диагностики узлов энергетического оборудования. При максимально задаваемых нагрузках разрушение ГСС, формируемого смазкой SKF, не наблюдалось. Это подтверждается результатами измерений контактного сопротивления, анализом АСМ-изображений, электронной микроскопией, Оже- и Фурье-спектроскопией внутренней поверхности колец. Было установлено, что на их поверхности формируется хемосорбированный слой, обладающий высокими антифрикционными и противозадирными свойствами.

Ресурсные испытания подшипников проводились при максимальной радиальной нагрузке 2 кН и скорости вращения 0,5–1,5 м/с. Смазочный материал предварительно вымывался полярными и неполярными растворителями. В результате ресурсных испытаний подшипников качения ZVL6302/16 (Словакия) и 6202-2 RS d16 c3 (США) было установлено, что пробег второго подшипника в шесть раз больше.

зонд. Его длина рабочего наконечника составляет 150–200 мм, а диаметр – 3 мм. Он содержит ручку, металлический защитный корпус, в котором установлены в одной плоскости, ортогонально продольной оси датчика, параллельно друг другу, магниточувствительные элементы (МЧЭ), обмотки которых соединены между собой по градиентометрической схеме (рис. 1). В этом случае разность ЭДС магниточувствительных элементов, является мерой продольного градиента поперечной компоненты магнитного поля (иностранного ферромагнитного тела) относительно продольной оси датчика. В стенке защитного корпуса выполнены отверстия, центры которых совпадают с продольной осью сердечников МЧЭ.

Способ феррозондовой диагностики реализуют следующим образом (рис. 1).

При использовании, например, рентгеновского снимка, предварительно выделяют место предполагаемого залегания иностранного ферромагнитного тела или удобное место, производят небольшой разрез (прокол) тканей и вводят рабочий конец датчика с установленными ортогонально продольной оси датчика МЧЭ, который перемещают вертикально в любую заданную область тканей и органов человека до получения сигнала синусоидальной формы от магниточувствительных элементов датчика. Этот сигнал фиксируют и осуществляют его анализ, сравнивая форму и величину. В результате чего судят об ориентации иностранного ферромагнитного тела относительно рабочего конца датчика. А именно: в случае наличия у сигнала двух выраженных максимумов, симметричных по форме, равных по величине, но противоположных по знаку полярности – иностранное (ферромагнитное тело одним из своих концов ориентировано к рабочему концу датчика и параллельно сердечникам МЧЭ (рис. 1, а); в случае наличия у выходного сигнала трех максимумов, из которых два расположены по краям второго, симметричные по форме, равные по величине и одной полярности, а второй, наибольший по величине и противоположный по знаку полярности – иностранное ферромагнитное тело своими концами ориентировано ортогонально к рабочему концу датчика и сердечникам МЧЭ (рис. 1, б); в случае наличия у сигнала трех максимумов, из которых два симметричные по форме, равные по величине, но противоположные по знаку полярности, а один, крайний, наименьший по величине, но одной полярности с крайним из двух, иностранное ферромагнитное тело – своими концами ориентировано под острым углом к рабочему концу датчика и сердечникам магниточувствительных элементов (рис. 1, в) [3].

Проведенные исследования показали, что мелкие ферромагнитные частицы размером 1,8×1,0 мм локализируются на расстоянии 19–25 мм (при разных ориентациях датчика и частицы), размером 1,4×0,7 мм на расстоянии 13–18 мм, размером 2,0×0,2 мм на расстоянии 15–21 мм, обломок швейной иглы, размером 10×0,8 мм на расстоянии 30–40 мм, а обломок слабоферро-

магнитной инъекционной иглы, размером 10×0,7 мм на расстоянии 10–15 мм.

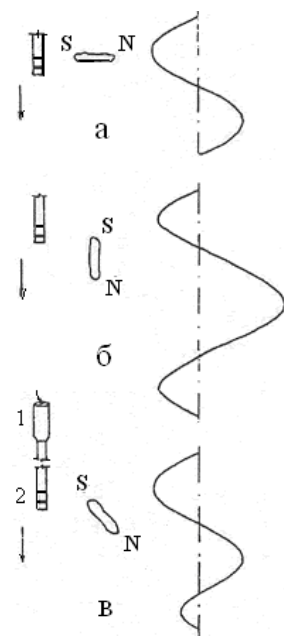


Рис. 1. Зависимость выходного сигнала датчика от положения ИФТ при вертикальном перемещении датчика: 1 – датчик; 2 – МЧЭ

Таким образом, применение данного способа позволяет расширить возможности методики феррозондовой диагностики инородных ферромагнитных тел за счет устранения многократного уточнения получаемого сигнала с целью получения достоверности о локализуемых инородных телах. Одновременно он повышает ее эффективность использования при одновременном снижении уровня операционной травматичности за счет сравнительного анализа сигнала, который обеспечивает точную характеристику ориентации ИФТ относительно рабочего конца феррозондового датчика.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Краснов, М. Л.** Руководство по глазной хирургии / М. Л. Краснов, В. С. Беляев. – М. : 1988. – 320с.
2. Пат. РФ № 2123303. Феррозондовый полюсоискатель / В. И. Пудов, Ю. Я. Реутов, С. А. Коротких // Бюл. изобр. – № 35. – П ч. – 1998. – С. 236.
3. Пат. РФ. №2127076. Способ Пудова В. И. для феррозондовой диагностики инородных ферромагнитных тел / В. И. Пудов, В. А. Куликов, А. С. Коротких. – Бюл. изобр. № 7 (Пч.) – 1999. – С. 345.

E-mail: pudov@imp.uran.ru

УДК 621.89; 534.32:531

АНАЛИЗ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ СВОЙСТВ ПОДШИПНИКОВ КАЧЕНИЯ

С. В. КОРОТКЕВИЧ, О. В. ХОЛОДИЛОВ, В. В. КРАВЧЕНКО,
А. В. БУТКЕВИЧ

РУП «ГОМЕЛЬЭНЕРГО»

УО «БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ТРАНСПОРТА»

УО «ГОМЕЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
им. Ф. Скорины»

ООО «МИКРОТЕСТМАШИНЫ»

Гомель, Минск, Беларусь

Контроль состояния граничного смазочного слоя (ГСС) в опорах качения позволяет вовремя выявить начало наступления критического режима эксплуатации оборудования. Масляное голодание приводит к повышенному изнашиванию, задиру и схватыванию сопряжённых поверхностей, что сопровождается повышением температуры, вибрации и выходом узлов энергетического оборудования из строя. Обнаружение перехода от полимолекулярного ГСС к нанометровому мономолекулярному слою по уровню величины падения напряжения позволяет на ранней стадии определять критический режим эксплуатации подшипников качения. Реализация системы обратной связи путём подачи смазочного материала (СМ) в зону трения позволяет устранить аварийный режим.

Ранее было показано [1], что при приложении фиксированного напряжения к подвижному и неподвижному электродам (опора качения или скольжения) и регистрации величины туннельного тока удаётся создать систему контроля толщины ГСС между двумя электродами. Использование 4-проводной схемы позволяет создать систему контроля перехода от жидкостного к граничному трению, а при граничном трении выявлять режимы перехода от полимолекулярного к мономолекулярному ГСС и далее к «сухому» (без СМ) трению.

Для оценки эксплуатационных свойств подшипников качения была изготовлена установка на базе машины трения СМТ-1 [1]. Испытания проводились при ступенчатом радиальном нагружении подшипника до 2 кН. Скорость вращения подшипника составляла 0,5 м/с. Подшипник вымывался полярными и неполярными растворителями и заполнялся исследуемым СМ. В ходе эксперимента были установлены следующие этапы состояния подшипников качения:

1) формирование на кольцах подшипника мономолекулярных и полимолекулярных хемосорбированных смазочных слоёв (или формирование устойчивых диссипативных структур);

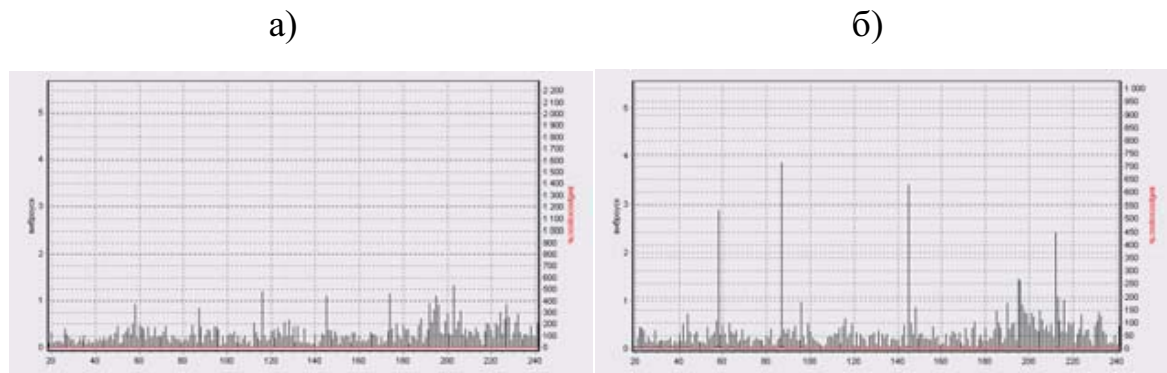


Рис. 3. Гармоники сателлитов II ряда РМК ($z=47$) на спектре виброускорений при скорости движения самосвала 29...30 км/ч: а – исправный редуктор; б – редуктор с поврежденным сателлитом

Основные преимущества создаваемого оборудования и методических подходов к оценке технического состояния и прогнозированию остаточного ресурса зубчатых передач – проведение вибромониторинга и диагностики приводных механизмов в процессе эксплуатации, работа в условиях постоянно меняющихся скоростей и нагрузок, автоматизация процесса вибромониторинга, адаптация в бортовую компьютерную систему мобильных машин, обеспечение повышения конкурентоспособности выпускаемой продукции. Применение таких систем в хозяйствах позволит перейти от планово-предупредительной системы обслуживания автотракторной техники и оборудования к обслуживанию по их фактическому состоянию, повысить качество эксплуатации техники, значительно сократить расходы на ее ремонт.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Paul D. Samuel, Planetary Transmission Diagnostics / Paul D. Samuel, Joseph K. Conroy, and Darryll J. Pines/ [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.grc.nasa.gov/WWW/5900/5950/Publicat.htm>.
2. Ken Singleton, Case Study Analysis of Two Stage Planetary Gearbox Vibration / Ken Singleton/ [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.commtest.co.uk/pdfs/case_study_windflow.pdf.
3. Nigel Leigh, Vibration Analysis of the Windflow Turbine Gearbox / Nigel Leigh/ [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.commtest.co.uk/pdfs/case_study_windflow.pdf.
4. Проведение вибрационного мониторинга и диагностики: Программная методика. 600-081-05ПМ. [Текст]. – РУПП «БелАЗ», Жодино. – 2005. – 6 с.
5. **Ишин, Н. Н.** Инструментально-методические средства диагностики и прогнозирования остаточного ресурса приводных механизмов сельскохозяйственной техники / Н. Н. Ишин, А. С. Скороходов // Энергосберегающие технологии и технические средства в сельскохозяйственном производстве: тез. докладов междунар. науч.-практ. конф. – Минск, 12-13 июня 2008 г. в 2 ч: Минск, 2008. – Ч. 1. – С. 349–355.

УДК 620.179.14

КОНТРОЛЬ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЛАЗЕРНОЙ ОБРАБОТКИ МАГНИТОМЯГКИХ МАТЕРИАЛОВ И СПЛАВОВ

В. И. ПУДОВ, Ю. Я. РЕУТОВ
«ИНСТИТУТ ФИЗИКИ МЕТАЛЛОВ УРО РАН»
Екатеринбург, Россия

При производстве анизотропных электротехнических сталей на основе Fe-3%Si с ребровой кристаллографической текстурой (110)[001], в частности, марок 3406–3410 (ГОСТ 21427.1–83), а также аморфных материалов, формируется острая кристаллографическая и магнитная текстуры, приводящие к появлению крупных зерен и магнитных доменов. В результате этого при их эксплуатации в разных по назначению электротехнических устройствах возрастают при перемагничивании материала вихретоковые магнитные потери P_v (до 70%).

Для сужения доменов и снижения магнитных потерь применяют локальную лазерную обработку (ЛЛО). С её помощью на поверхность ленточных образцов наносят структурные зоны – узкие участки, отличающиеся по структуре от основного материала [1, 2].

Экспериментальными исследованиями выявлено, что эффект ЛЛО снижающий магнитные потери в магнитомягких сплавах зависит не только от степени текстурованности материала, толщины и размеров ленты, но в значительной степени, от подбора оптимальной плотности энергии облучения (приводящей к минимуму P_v) и ее вариационным изменениям по длине ленты (~10%). Этот параметр существенно зависит от нестабильности излучения, неоднородности структуры ленты и отражательной способности ее поверхности.



Рис. 1. Зависимость магнитных потерь $P_{1,7/50}$ и индукции B_{100} в стали от ЛЛО

Перспективность применения данного метода обусловлена тем, что вблизи поверхности ленточных образцов над зонами лазерного воздействия

формируются магнитные поля рассеяния периодически измененной доменной структуры, напряжённость которых зависит от интенсивности проводимой лазерной обработки.

Таким образом, измеряя напряженность поля рассеяния от зон лазерной обработки, можно управлять интенсивностью лазерного облучения.

То есть практическая реализация феррозондового метода связана с обнаруженной корреляцией между изменениями магнитных потерь $P_{1,7/50}$ (при амплитуде $B \sim 1,7$ Тл и частоте $f \sim 50$ Гц) и снижением магнитной индукции B_{100} (индукция в поле 100 А/м), соответствующим увеличению магнитного поля рассеяния H_p в зонах лазерного воздействия, при управлении плотностью энергии излучения CO_2 -лазера. Как показали исследования, минимальным магнитным потерям в электротехнической стали марки 3407 соответствует 4–5 % снижение индукции при интенсивности воздействия в 2– 2,5 Дж/см² (рис. 1).

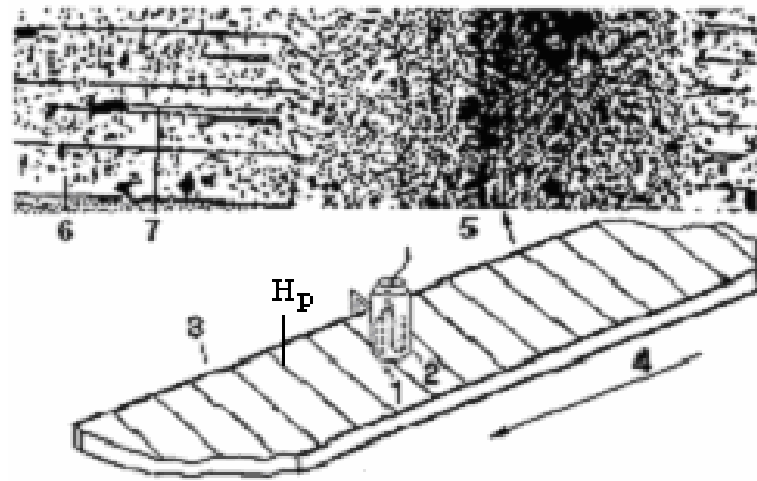


Рис. 2. 1 и 2 – МЧЭ; 3 – сталь; 4 – направление; 5 – зоны ЛЛО; 6 – узкие 180-градусные полосовые и 7 – клиновидные замыкающие домены-зародыши переманчивания; H_p – магнитное поле рассеяния в зоне воздействия ЛО

В обрабатываемом экспериментальном образце трансформаторной стали, поддержание максимума снижения магнитных потерь при воздействии лазерной обработки обеспечивается сохранением оптимальной амплитуды сигнала, возникающего на миниатюрных магниточувствительных элементах (МЧЭ), феррозондового преобразователя (феррозонд), при прохождении вблизи них полей рассеяния H_p от зон лазерного воздействия (рис. 3).

При исследовании феррозондовый преобразователь с магниточувствительными элементами 1 и 2 (их размер 0,1x2,5 мм) размещался вертикально на высоте 1 мм над полосовым образцом 3 трансформаторной стали толщиной 0,3 мм, шириной 30 мм и длиной 480 мм и над образцами в виде лент. Причем магниточувствительные элементы 1 и 2, установленные параллельно друг другу на расстоянии 2 мм один от другого, располагались вдоль длинной стороны образца посередине его ширины.

Вибродиагностика коробок передач автомобиля МАЗ. При проведении испытаний коробок передач Минского автомобильного завода для выявления причин повышенного шума используется универсальный испытательный стенд отдела ДАВДМ ОИМ (рис. 2, а). Предварительный расчет основных вынужденных частот зубчатых пар проводится по оригинальной программе, написанной специально для данной КП (рис. 2, б).

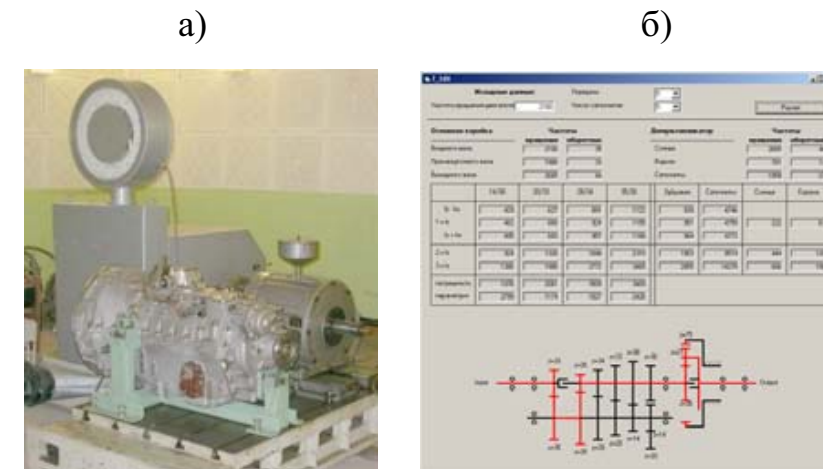


Рис. 2. Испытания КП МАЗ: а – КП МАЗ на испытательном стенде; б – программа расчета частот

Особенностью аппаратного обеспечения и методик испытаний данного узла является совместное исследование шума и вибрации, возбуждаемых зубчатыми колесами. Широкие возможности открывает также совместная обработка сигналов и спектров кинематической погрешности и вибрации, позволяющая выяснить причины возбуждения виброускорений каждым из валов механизма.

Вибромониторинг технического состояния редукторов мотор-колес (РМК) карьерных самосвалов БелАЗ. Следует отметить высокую сложность диагностирования РМК вибрационными методами вследствие конструктивных особенностей редуктора мотор-колеса. В связи с этим, одной из важнейших задач, решаемых при организации работ по вибромониторингу РМК, является выбор инструментальных средств и определение требований, которым должны удовлетворять критерии оценки его технического состояния. Следует также учитывать особенности проведения диагностики редукторов в процессе эксплуатации, при работе в условиях постоянно меняющихся скоростей и нагрузок.

Во время проведения испытаний в карьере Полтавского горно-обогатительного комбината (г. Комсомольск, Украина) на одном из редукторов наблюдалось значительное повышение зубцовых гармоник сателлитов 2-го ряда РМК (рис. 3), что говорило о появлении дефектов. Разборка редуктора с заменой одного из сателлитов по причине скола зуба подтвердила предварительный диагноз.

Н. Н. ИШИН, А. М. ГОМАН, А. С. СКОРОХОДОВ, М. К. НАТУРЬЕВА
ГНУ «ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ МАШИНОСТРОЕНИЯ
НАН Беларуси»
Минск, Беларусь

Вопросы вибродиагностики зубчатых передач планетарных механизмов на сегодняшний день наиболее актуальны там, где надежность планетарного редуктора связана либо с вопросами безопасности (летательные аппараты [1]), либо со значительными затратами на ремонт уникальной техники (шахтное оборудование [2], турбоагрегаты [3], карьерная техника [4]). Вибрационные спектры планетарного редуктора требуют детального и сложного анализа, при этом используются практически все известные методы вибродиагностики: обработка сигналограмм, анализ спектров, применение метода синхронного накопления, взаимокорреляционного метода и т. д.

Отдел динамического анализа и вибродиагностики машин ОИМ НАН Беларуси специализируется на разработке фундаментальных и прикладных исследований в области мониторинга состояния, диагностики, улучшения виброакустических характеристик и прогнозирования остаточного ресурса механических систем, в том числе планетарных рядов коробок передач (КП) и планетарных редукторов в сборе [5].

Инструментально-методические средства. На базе микропроцессорных модулей и ПЭВМ, работающих в реальном масштабе времени, создан ряд диагностических комплексов, использующих прогрессивные методики обработки сигналов и диагностики. Например, применение узкополосного анализа с высокой разрешающей способностью в сочетании с использованием метода синхронного накопления обеспечивает выделение не только основных зубцовых частот всех зубчатых пар планетарного механизма, но и комбинированных боковых частот (пример для зубчатой пары $z_1/z_2 = 33/35$ коробки передач приведен на рис. 1).

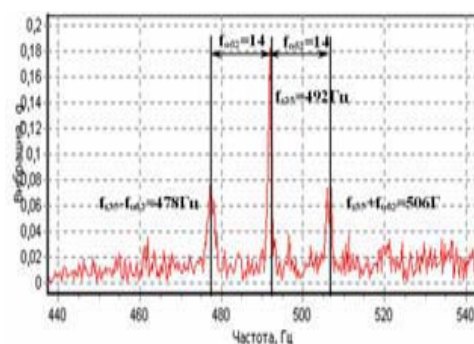


Рис. 1. Участок спектра виброускорений КП МАЗ, 9-ая передача

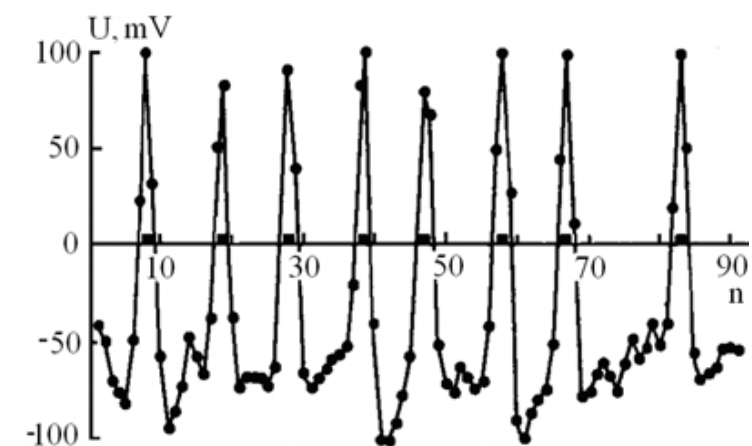


Рис. 3. Амплитуды оптимального сигнала феррозонда от магнитных полей над зонами ЛО (положение зон на образце обозначены квадратами на оси абсцисс)

Градиентометрический способ соединения магниточувствительных элементов позволил измерять горизонтальный градиент вертикальной составляющей магнитных полей рассеяния H_r , формируемых спонтанной намагниченностью в зонах воздействия лазерной обработки электротехнической стали. Их величина интенсивности достаточно четко фиксируется стрелочным или цифровым индикаторами феррозондовой аппаратурой (рис. 3).

Таким образом, разработанная специальная феррозондовая аппаратура позволяет повысить эффективность лазерной обработки магнитомягких материалов и сплавов, что является основой создания перспективной технологии производства электротехнических сталей и сплавов с минимальным уровнем электромагнитных потерь.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Драгошанский, Ю. Н. Управление доменной структурой как средство оптимизации магнитных свойств анизотропной электротехнической стали / Ю. Н. Драгошанский, Б. К. Соколов // Изв.АН СССР, Физика. –1989. – Т.53. – №4. – С. 610–613.
2. Nozawa T., Mizogami M., Mogi H., Matsuo Y. Magnetic properties and dynamic domain behavior in grain-oriented 3% Si-Fe // IEEE Trans Magn, –1996. –V.32. – №2. – P. 572–589.

E-mail: pudov@imp.uran.ru

УДК 681.7.068
ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ УЛЬТРАЗВУКОВОГО КОНТРОЛЯ
КАЧЕСТВА СОЕДИНЕНИЯ ДВУХСЛОЙНОГО ОБЪЕКТА

О. С. СЕРГЕЕВА, С. В. САДОВСКИЙ
ГУ ВПО «БЕЛОРУССКО-РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
Могилев, Беларусь

Исследования проводились на двух типах преобразователей: прямой преобразователь и шестнадцати элементная фазированная решётка.

Выявление дефектов проводится по падению амплитуды отраженного сигнала.

Для проведения исследований с применением прямого преобразователя был разработан и изготовлен образец двухслойного объекта представленный на рис. 1. Образец представляет собой металлическую пластину, скреплённую с пластиной из плексигласа. В металлической пластине просверлены отверстия диаметром от 2 до 7 мм необходимые для эмуляции дефектов сцепления биметаллов.

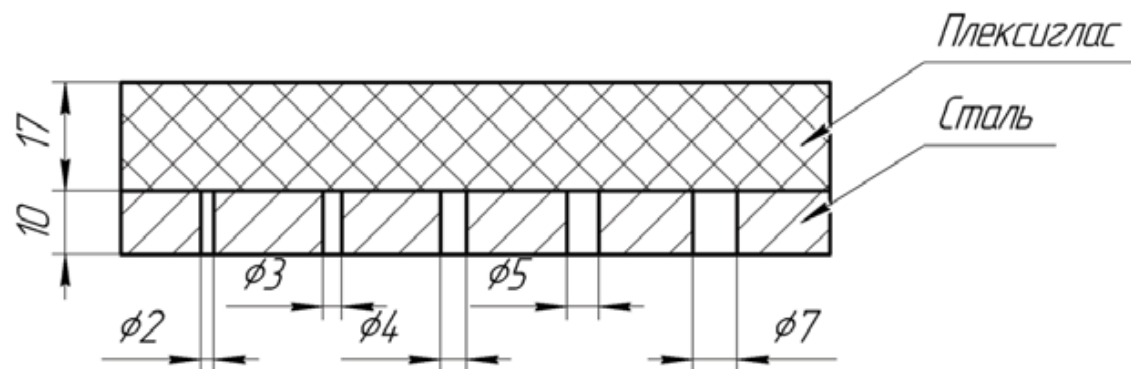


Рис. 1. Образец двухслойного объекта

Было проведено два типа экспериментов: зависимость амплитуды сигнала от положения преобразователя, зависимость амплитуды сигнала от размера преобразователя.

Для первого эксперимента был изготовлен прямой преобразователь диаметром 4 мм, работающий на частоте 2,5 МГц. В качестве опорного сигнала был выбран сигнал от дефекта диаметром 5 мм. В качестве контактной жидкости выступало очищенное машинное масло.

Результаты эксперимента представлены на графике (рис. 2). По полученным данным можно судить о том, что при использовании преобразователя, когда верно условие $S_{II} < S_D$ и центры преобразователя и дефекта совпадают, то возникает явление резкого всплеска сигнала. На графике минимумам соответствуют края дефекта, а центральный всплеск является точкой совпадения центра преобразователя и дефекта.

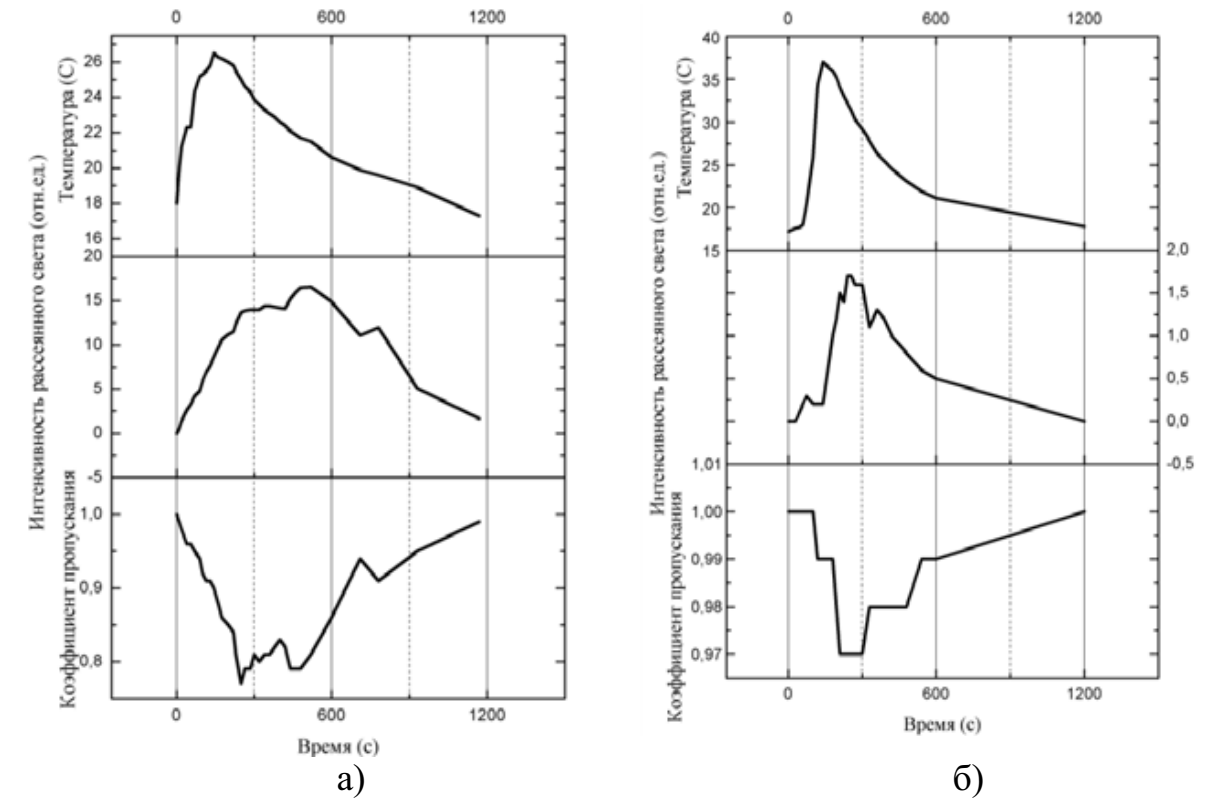


Рис. 2. Зависимость коэффициента пропускания среды, интенсивности рассеянного излучения и температуры под потолком помещения при пламенном горении писчей бумаги от времени: а – гладкая бумага; б – мятая бумага

Из представленных зависимостей видно, что динамика изменения характеристик среды под потолком существенно зависит от качества бумажной продукции. Горение мятой бумаги вызывает гораздо меньшее изменение коэффициента пропускания и интенсивности рассеянного излучения, чем горение того же количества гладкой бумаги. При этом характеристики отличаются не только количественно, но и качественно. Максимум изменения исследуемых характеристик наблюдается на сто пятидесятой секунде горения упаковочного картона, максимум изменения характеристик при горении писчей бумаги наступал примерно через 300 с после потухания пламенного пожара. Тление бумаги на горячей плите приводит к появлению особенностей изменения характеристик в момент перехода тлеющего пожара в пламенный.

Полученные результаты указывают на необходимость разработки алгоритмов, учитывающих обнаруженные закономерности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Bukowski, R. W. Fire Alarm Signaling Systems / R. W. Bukowski, W. D. Moore National Fire Protection Association, 2003.–450 p.

ное горение упаковочного картона изучалось при горении 3 кусков картона размером 280x400 мм общей массой 325 г., расположенного под углом примерно 7° к горизонтали. Тление бумаги изучалось при размещении десяти листов писчей бумаги на поверхности электроплиты мощностью 2 кВт. После включения, поверхность электроплиты нагревалась до температуры 600 °С за десять минут. Характеристики среды под потолком помещения измерялись на расстоянии, примерно четыре метра от оси пожара, в специально разработанном измерительном канале. Температура в начале эксперимента составляла 18 °С. Определялся коэффициент пропускания среды и выполнялись измерения интенсивности рассеянного вперед излучения на углы от двух до двенадцати градусов.

Полученные в экспериментах зависимости представлены на рис. 1, 2. На рис. 1 представлены результаты исследования пламенного горения упаковочного картона.

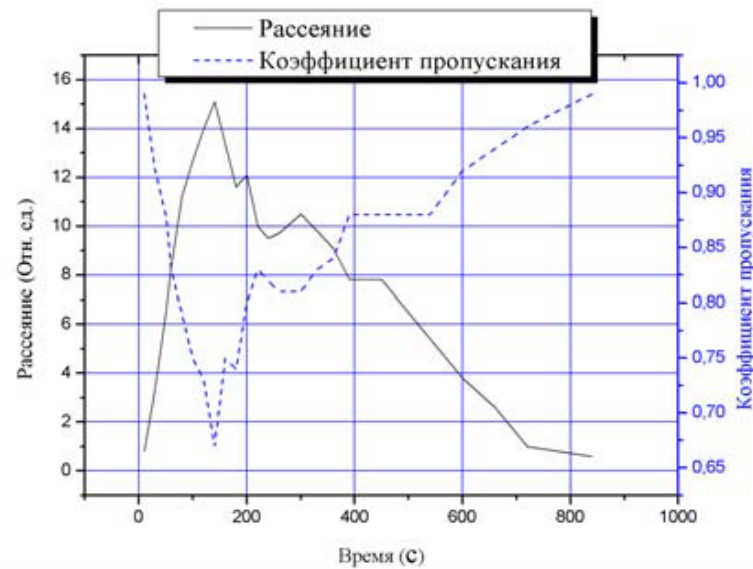


Рис. 1. Зависимости интенсивности рассеянного излучения и коэффициента пропускания среды под потолком помещения при пламенном горении упаковочного картона (325 г)

Из представленных результатов видно, что коэффициент пропускания достигает минимума (0,67) одновременно с максимумом интенсивности рассеянного света (15 отн.ед.) через 180 секунд горения. После затухания картона оба параметра постепенно принимают начальные значения через 15 мин.

Результаты исследования пламенного горения писчей бумаги представлены на рис. 2.

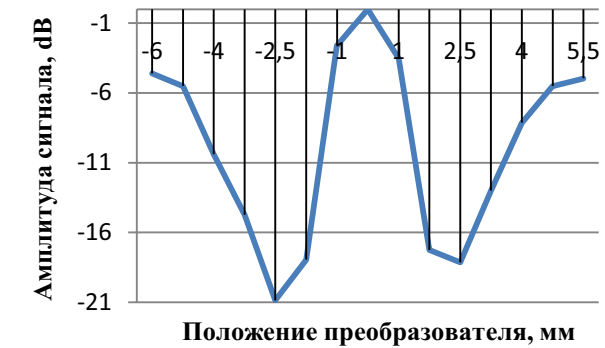


Рис. 2. Зависимость амплитуды сигнала от положения преобразователя

Для второго эксперимента был изготовлен прямой преобразователь диаметром 12 мм, работающий на частоте 2,5 МГц. В качестве опорного сигнала был выбран сигнал от дефектов диаметром 2 и 5 мм. В качестве контактной жидкости выступало очищенное машинное масло.

Результаты эксперимента представлены на графике (рис. 3). По полученным данным можно сделать вывод о зависимости выявляемости дефектов от диаметра преобразователя. При использовании преобразователей $S_{II} > 2S_D$ достоверность выявления дефектов становится неприемлемой. Наиболее оптимальные параметры выявления дефекта, когда параметры преобразователя лежат в пределах $S_{II} \leq 2S_D$



Рис. 3. Зависимость амплитуды сигнала от размера преобразователя

Для проведения исследований с применением шестнадцати элементной фазированной решётки был разработан и изготовлен образец двухслойного объекта, представленный на рис. 4. Образец представляет собой две металлические пластины, скреплённые с пластиной из плексигласа. Металлические пластины установлены с возможностью регулировки зазора между ними необходимого для эмульсии дефектов сцепления биметаллов.



Рис. 4. Образец двухслойного объекта

В результате эксперимента выявлялась зависимость амплитуды сигнала от апертуры фазированной решётки. Для эксперимента в образце был выставлен зазор 1 мм. Данные снимались при 2, 4, 6 активных пластинах. Размер одной пластины в решётке составляет 0,5 x 8,0 мм.

Данные эксперимента представлены на рис. 5. В отличие от прямого преобразователя, у фазированной решётки сигнал от дефекта представляет равномерное падение амплитуды с минимумом в центре дефекта.

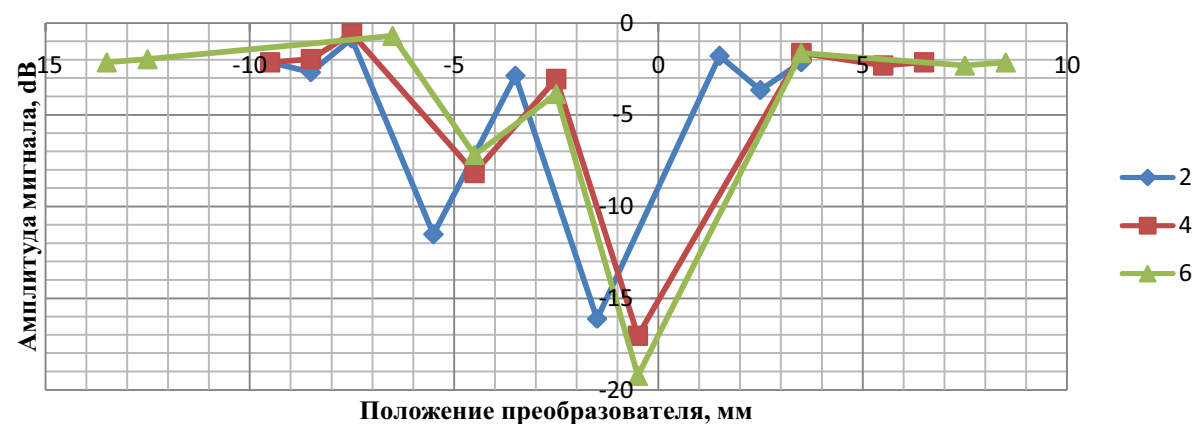


Рис. 5. Зависимость амплитуды сигнала от апертуры преобразователя

В работе рассмотрено автоматизированное устройство для реализации разработанной методики контроля для подшипников скольжения.

УДК 614.841

ДИНАМИКА ИЗМЕНЕНИЯ ФАКТОРОВ ПОЖАРА В ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПОМЕЩЕНИЯХ С БУМАЖНОЙ ПРОДУКЦИЕЙ

И. Е. ЗУЙКОВ, А. А. АНТОШИН, Г. И. ОЛЕФИР
«БЕЛОРУССКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
Минск, Беларусь

В настоящее время бумага широко используется в производственном процессе в самых различных целях. Это может быть документация разного назначения, используемые в технологическом процессе материалы на основе бумаги, упаковочный материал для комплектующих изделий и для готовой продукции. Известно, что характеристики среды под потолком, в случае горения бумаги, отличаются от характеристики среды, образующейся при горении других материалов. Авторы [1] приводят результаты исследования характеристик среды при горении обрывков газетной бумаги, обычного бензина, полистирола и дерева. Из приведенных в работе результатов видно, что при горении бумаги в отличие от других тестовых пожаров «затемнение» резко возрастает, но через несколько секунд также резко уменьшается. При дальнейшем горении пропускание среды под потолком остается достаточно хорошим, «затемнение» составляет примерно 4 % на фут. В других случаях «затемнение» нарастает медленно на протяжении примерно 3 минут, и достигает значения 12 % на фут.

Наиболее распространенные алгоритмы работы дымовых пожарных извещателей предполагают принятие решения о пожаре по результатам нескольких измерений и только при повторении результатов измерений формируется сигнал «пожар». По этой причине инерционность обнаружения пожара составляет величину порядка десяти секунд, а значит, особенности горения бумаги могут привести к пропуску системами пожарной сигнализации опасного пожара. В литературе, в настоящее время, отсутствует информация об особенностях горения бумажной продукции разного вида, например, упаковочного картона, писчей бумаги и т. д., нет информации о характере изменения свойств среды под потолком и при других типах пожара, например, при тлении бумажной продукции.

В работе исследовано пламенное и тлеющее горение бумаги и упаковочного картона. Исследования проводились на установке, моделирующей пожары в условиях приближенных к реальному пожару в помещении. В первом эксперименте пламенное горение бумаги исследовалось при поджоге 20 листов писчей бумаги формата А1 плотностью 80 г/м², расположенной на горизонтальной поверхности веером. Бумага, сложенная в стопку, не поддерживала самостоятельного горения. Во втором эксперименте исследовалось пламенное горение 20 листов мятой бумаги того же качества. Пламен-

По достижении результата регулирования частота изъятия выборок возвращается к первоначальному значению, действовавшему до появления «особой» причины. Такой способ статистического контроля значительно снижает его трудоёмкость.

Организация статистического регулирования, в данной постановке, лишена обозначенных выше недостатков, поскольку информация для анализа формируется автоматически, практически без участия оператора, отсутствует необходимость в поиске оптимальных соотношений между интервалами изъятия выборок и требуемой трудоёмкостью.

Ввиду действия большого количества возмущающих факторов, значения, полученные в основном контуре, имеют определённую погрешность, однако в данной постановке первостепенным является не точность полученных значений, а плавность протекания технологического процесса – его стабильность во времени. Для получения более точных показаний в основном контуре периодически производится корректировка параметров с помощью второго контура.

В результате управления режимом шлифования на основе раннего выявления «особых» причин изменчивости появляется возможность не только поддерживать стабильное состояние технологического процесса, но и снизить трудоёмкость статистического контроля.

Реализация предлагаемого метода обнаружения «особой» причины изменчивости с использованием двухконтурной системы активного контроля осуществляется с помощью приборов АСК2974 (основной контур) и АСК1147 (дополнительный контур), разработанных в Тольяттинском государственном университете и Волжском автомобильном заводе.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Решетов, А. Г.** Автоматизация шлифования и размерного контроля деталей / А. Г. Решетов. – СПб. : Политехника, 2003. – 193 с.
2. **Михелькевич, В. Н.** Автоматическое управление шлифованием / В. Н. Михелькевич. – М. : Машиностроение, 1975. – 304 с.

E-mail: esk@tltsu.ru

УДК 620.19

ОЦЕНКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ МЕСТОПОЛОЖЕНИЯ ДЕФЕКТА ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫМ МЕТОДОМ ПРИ ПАНОРАМНОМ СКАНИРОВАНИИ ОБЪЕКТА С НИЗКИМ РАЗРЕШЕНИЕМ

Д. Н. ХАТЬКОВ
ФГБУН «ИНСТИТУТ ФИЗИКИ ПРОЧНОСТИ И
МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЯ СО РАН»
Томск, Россия

На стадии серийного производства промышленных изделий сложной конфигурации возникают существенные трудности в проведение детальной дефектоскопии этих изделий, поскольку для их анализа требуется большое количество времени. В основном это касается методов дефектоскопии, использующих панорамную съемку объектов, имеющих большое количество точек измерения. Одним из возможных решений данной проблемы может стать существенное уменьшение числа зондируемых точек. В связи с этим, необходимо рассмотреть возможность диагностики в панорамных устройствах низкого разрешения, например, размер матрицы данных не более 10x10 точек.

Для решения подобной задачи используем синтез низкоразрешающих панорам и дефектов на основе их математического моделирования. С целью искусственного увеличения числа исходных точек для всех методов анализа будем использовать интерполяционные процедуры. При моделировании панорамы учтем, что она может иметь флуктуационный характер из-за погрешности оборудования, разные постоянные составляющие, обусловленные разными условиями измерения одного и того же объекта. Аналогичные свойства учтем и для синтеза дефекта – случайная амплитуда, флуктуация внутри ячейки, а максимальное значение амплитуды дефекта установим в два раза больше максимальной флуктуации панорамы. В качестве метода, позволяющего определить местоположение дефекта будем использовать дифференциальный. Практическую реализацию этого метода рассмотрим в двух вариантах.

Для первого варианта предлагается следующая технология обработки данных. Полученная панорама подвергается процессу интерполирования с целью получения нового размера матрицы 100x100 точек. Затем производится вейвлет, обработка с целью выделения информативных признаков дефекта, например, вейвлетом Шапо. После этого осуществляется дифференциальная операция по всему полю панорамы. В результате такой обработки, имеющиеся помехи в виде выбросов (2, 3) минимизируются и в полной мере выявляется дефект (1) рис. 1. Однако у такого метода обработки имеется недостаток. Место положение максимума дефекта смещено относительно его

истинного положения. Аналогичное явление наблюдается и для другого метода анализа панорам с низким разрешением, представленного в [1].

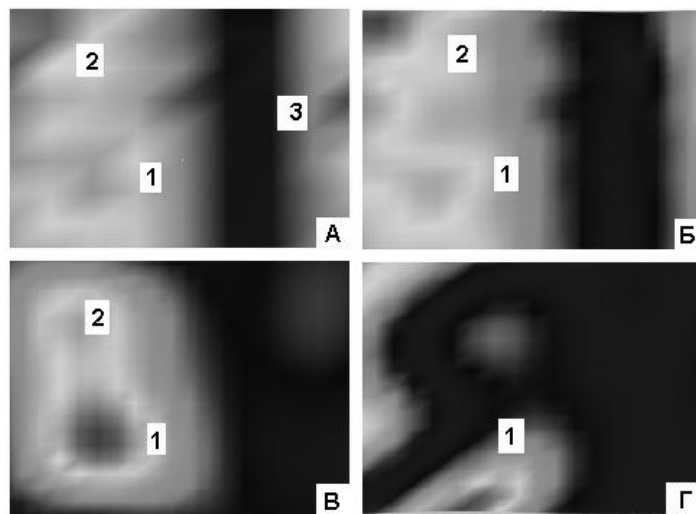


Рис. 1. Последовательность обработки панорам с дефектом 1 и помехами 2, 3: а – исходная 10x10; б – интерполяционная 100x100; в – вейвлет обработка; г – дифференциальная

Подобный метод определения местоположения дефекта, применим, если величина сигнала от дефекта превышает остальные сигналы в два раза. Он успешно работает при большой кривизне поверхности панорамы и не требует эталонной панорамы.

В ряде случаев, на производстве детали изготавливаются с рядом допусков, которые невозможно устранить. Это касается, например, литейного производства. В этом случае точки панорам обладают флуктуациями, которые можно принять за дефекты, особенно это касается панорам с низким разрешением. Для этого случая предлагается следующая технология обработки панорам. Предварительно получают от объекта контроля не менее шести панорам. Все эти панорамы необходимы для получения эталонной панорамы аддитивным способом рис. 2, а.

Далее с полученной панорамой осуществляют интерполирование к размерам матрицы 100x100 рис. 2, б. Аналогичную процедуру интерполирования в дальнейшем проводят для панорам, получаемых от объекта контроля рис. 2, в. Процедура выявления дефекта заключается в разностном сравнении эталонной панорамы с панорамой от объекта. Результаты такого сравнения в виде квадрата модуля разности точек панорамы, представлены на рис. 2. На этом рисунке использована помеха (2) больше по величине амплитуды, чем сигнал от дефекта, хорошо видно, что индикация дефекта соответствует его первоначальному положению (1) рис. 2, г.

В новой постановке статистическое регулирование необходимо вести, опираясь на другие принципы, в частности, на более раннее определение «особой» причины. В качестве индикатора её возникновения необходимо использовать параметр, обладающий повышенной чувствительностью к действию возмущающих факторов.

В качестве такого параметра целесообразно использовать физические величины, связанные с качественными показателями механообработки, но полученные в цикле обработки детали, например, конечная скорость съёма припуска $V_{МК}$. Как известно [1] конечная скорость съёма припуска $V_{МК}$ связана с погрешностью обработки (отклонением от номинального размера ΔL) зависимостью:

$$\Delta L = C_1 \Delta V_{МК} \quad (1)$$

где C_1 – постоянный коэффициент, связанный с условиями обработки.

Известна также и взаимосвязь микрогеометрии обработанной поверхности R_a с конечной скоростью $V_{МК}$ [2]:

$$R_a = C_2 (V_{МК})^n \quad (2)$$

где C_2, n – постоянные коэффициенты.

Для повышения эффективности и снижения трудоёмкости статистического регулирования процессом все операции, связанные с получением измерительной информации, должны осуществляться автоматически, практически без вмешательства оператора.

Это достигается тем, что при обработке детали на станке в основном контуре системы активного контроля определяется погрешность детали ΔL , согласно выражению (1). Получаемые значения выводятся на дисплей прибора в виде точечной диаграммы.

Расслоение информации с целью определения «особой» причины осуществляется путём статистической обработки последовательности $\Delta L(n)$ методом скользящей средней. В момент обнаружения действия «особой» причины, характеризуемое, в данном случае, приближением технологического процесса к верхней границе регулирования, автоматически или с помощью оператора осуществляется послеоперационный контроль размеров обработанных деталей с помощью второго контура.

До появления «особой» причины моменты изъятия выборок достаточно редки и определяются причинами долговременного порядка: анализом стабильности технологического процесса во времени, контролем точности оборудования, совершенствованием технологического процесса и т. д. После появления «особой» причины частота изъятия выборок увеличивается и определяется мерами регулирующего воздействия и характером компенсируемого возмущающего фактора.

УДК 681.518.3
ОБНАРУЖЕНИЕ «ОСОБЫХ» ПРИЧИН ИЗМЕНЧИВОСТИ НА ОСНОВЕ
ДВУХКОНТУРНОЙ СИСТЕМЫ СТАТИСТИЧЕСКОГО
РЕГУЛИРОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА
МЕХАНООБРАБОТКИ

А. В. ЗАЯТРОВ
ФГБОУ ВПО «ТОЛЬЯТТИНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ»
Тольятти, Россия

Одним из наиболее важных направлений, открывающим широкие перспективы повышения качества механообрабатывающих, в первую очередь, шлифовальных операций, является разработка новых алгоритмов управления режимом обработки, реализуемых на основе микропроцессорных и компьютерных систем, а также широкого использования статистических методов управления технологическими процессами.

Схема организации технологического процесса шлифования, обычно включает в себя прибор активного контроля, в основе которого до настоящего времени используют типовой трёхинтервальный алгоритм управления. Послеоперационный контроль для таких систем играет вспомогательную роль и используется для компенсации действия некоторых возмущающих факторов, имеющих случайный функциональный характер, например, износ щупов, затупление круга и др.

Расширение возможностей систем активного контроля связано с использованием вычислительной техники, новых алгоритмов обработки информации и широкого внедрения статистических методов. В качестве структуры, определяющей перечисленные принципы, предлагается двухконтурная система активного контроля. В первом, основном контуре используется априорная и текущая информация для оперативного управления циклом обработки. Во втором, дополнительном контуре используется апостериорная информация, отличающаяся объективностью и адаптированная для всех заинтересованных служб предприятия.

Следует отметить, что традиционная организация статистического регулирования обладает значительной трудоёмкостью, так как периодичность отбора выборок варьируют в диапазоне от 10 до 60 мин и выполняют преимущественно вручную. Расширение интервала между выборками повышает риск незамеченной разладки, снижая эффективность статистического регулирования.

Трудоёмкий процесс получения статистической информации и её запаздывание для целей статистического регулирования до настоящего времени является главным препятствием на пути его широкого использования в производственной практике.

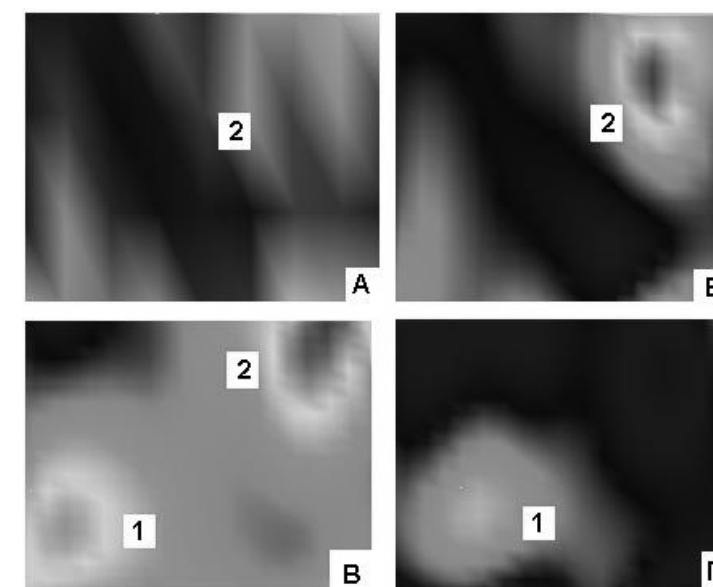


Рис. 2. Последовательность обработки панорам с дефектом 1 и сильной помехой 2: а – эталонная 10x10; б – интерполяционная 100x100; в – с дефектом; г – дифференциальная

В отличие от предыдущего метода, в данном методе место положения дефекта визуализируется без изменения его пространственных координат. Однако недостатком этого метода является требование формирования эталона.

Таким образом, применение дифференциального метода для панорам низкого разрешения оказывается возможным при выполнении набора различных процедур – интерполяции, вейвлет преобразования, синтез эталона аддитивным методом и дифференциации как самой панорамы, так и посредством сравнения с эталоном. При использовании этих процедур, как было показано, необходимо учитывать их особенности при определении местоположения дефекта.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Хатьков, Д. Н. Оценка определения местоположения дефекта при панорамном сканировании объекта с низким разрешением на основе стохастической математической модели / Д. Н. Хатьков, З. А. Шелковников // Современные проблемы производства и ремонта в промышленности и на транспорте: материалы 12-го междунар. науч.-техн. семинара, 20-24 февраля 2012 г., Свалява. – Киев : АТМ Украины, 2012. – С. 290–293.

E-mail: xatek@yandex.ru

УДК 620.179.14
МЕТОД РАСШИРЕНИЯ ДИАПАЗОНА ОТСТРОЙКИ ОТ ВЛИЯНИЯ
ЗАЗОРА ПРИ ВИХРЕТОКОВОМ КОНТРОЛЕ

А. А. ХВОСТОВ, А. Д. ПОКРОВСКИЙ
НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ «МЭИ»
Москва, Россия

Достижения вычислительной техники и широкое использование микропроцессоров, позволяют создавать универсальные вихретоковые дефектоскопы, обладающие широким набором рабочих частот и позволяющие решать большинство возникающих задач. Тем не менее, остаются задачи, методы решения которых, не достаточно эффективны. Так одним из мешающих факторов при проведении неразрушающего контроля методом вихревых токов является нестабильность зазора между катушкой или сердечником вихретокового преобразователя и поверхностью объекта контроля. Существует несколько направлений для решения этой проблемы: использование амплитудно-фазовых особенностей сигналов от зазора и дефекта методом проекции, применение дифференциальных преобразователей, использование модуляционных вихретоковых преобразователей для разделения сигналов от дефекта и зазора по их спектру, применение в дефектоскопе отдельного измерительного канала для измерения величины зазора для введения поправок в результаты контроля или поддержания механическим способом постоянной величины зазора [1].

Но многие мешающие факторы, включая приведенный ранее для примера зазор, не удастся исключить на этапе сбора данных, зато оказывается возможным исключить в процессе анализа и обработки данных. Эта нестабильность может быть вызвана колебаниями толщины диэлектрического покрытия на поверхности объекта контроля или отклонениями оси вихретокового преобразователя от нормали к поверхности, при проведении ручного сканирования. Электрические сигналы от нестабильности зазора или толщины диэлектрического покрытия могут в разы превышать сигналы от дефектов, подлежащих обнаружению. В ранее существовавших способах, в лучшем случае состоящих в том, что контролируемый объект вводят во взаимодействие с вихретоковым преобразователем, выделяют амплитудно-фазовым детектором квадратурные составляющие сигнала вихретокового преобразователя, создают малые приращения мешающего и контролируемого параметров, определяют направления их влияния и судят о наличии полезного или мешающего сигнала по проекции приращения вектора сигнала на оси, ортогональные направлениям влияния, соответственно мешающего и полезного сигнала. Недостатки являются следствием использования линейной аппроксимации нелинейного годографа, что приводит либо к сужению диапазона отстройки от мешающего фактора, либо недостаточному подавлению

Это означает уменьшение исходного заряда (и, соответственно, поверхностного потенциала) на 0,001...1 % за 1 с. Последняя величина является достаточно значительной, что может привести к погрешности при определении V_S в случае, если перенос образца из-под источника коронного разряда под зонд Кельвина занимает сопоставимое или большее время. Для устранения этой погрешности можно воспользоваться определением исходной величины V_S по методу экстраполяции, а именно, определив скорость спада поверхностного потенциала dV_S/dt , продлить график спада потенциала до момента отключения источника коронного разряда.

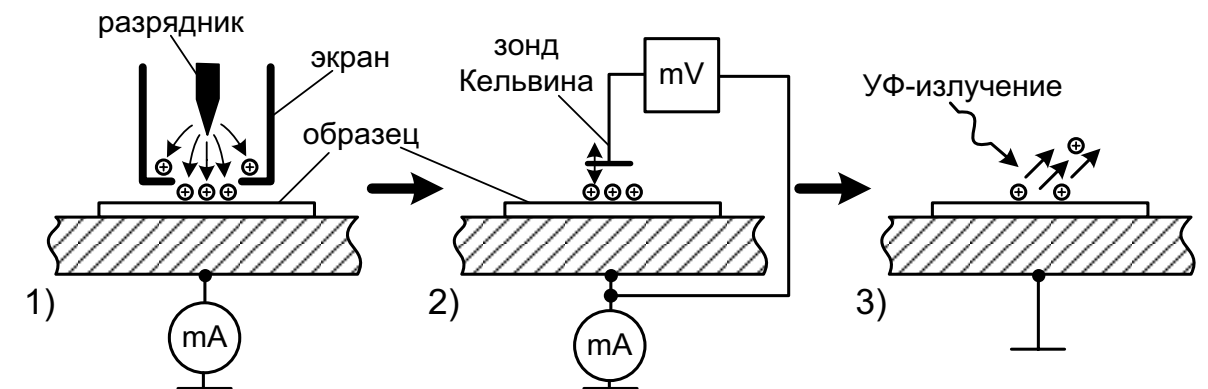


Рис. 1. Последовательность операций при проведении контроля: 1 – осаждение заряда; 2 – регистрация спада поверхностного потенциала после отключения источника коронного разряда; 3 – разряжение поверхности образца

Следует отметить, что изменение состояния полупроводника под диэлектриком под действием сильных электрических полей (например, его глубокое обеднение или инверсия) также может повлиять на величину V_S . Это накладывает дополнительные ограничения на величину осаждаемого заряда, либо же требует модификации математического аппарата для метода контроля.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Shroder, D.** Surface voltage and surface photovoltage: history, theory and applications / D. Shroder. – Meas. Sci. Tech. – 2001. – No.12. – P. R16–R21.
2. **Zharin, A. L.** Contact Potential Difference Techniques as Probing Tools in Tribology and Surface Mapping / A. L. Zharin // Applied Scanning Probe Methods. – 2010. – V. 14. – P. 687–720.
3. **Зи, С. М.** Физика полупроводниковых приборов / С. М. Зи. – М. : Мир, 1984. – кн. 2. – 456 с.

$$Q = \int_0^t i_{corona}(t) dt. \quad (1)$$

Площадь осаждения заряда определяется апертурой экранирующего электрода разрядника, зная которую, несложно определить поверхностную плотность осажденного заряда σ . Во избежание электрического пробоя диэлектрика величина σ не должна превышать 10^{-7} Кл/см² [1].

2. Отключив коронный разряд, немедленно перемещают заряженный образец под электрометрический зонд Кельвина. Реализуемый с использованием данного зонда метод Кельвина-Зисмана обеспечивает бесконтактные измерения поверхностного потенциала V_S в реальном масштабе времени. При этом необходимо отметить, что измерительный сигнал зонда Кельвина V_K помимо составляющей, связанной с потенциалом V_S , содержит также составляющую, определяемую, так называемой контактной разностью потенциалов (КРП) V_{CPD} между материалами зонда Кельвина и образца [2], т.е.

$$V_K = V_S + V_{CPD}. \quad (2)$$

В связи с этим, измерения поверхностного потенциала с помощью зонда Кельвина должны предваряться определением величины V_{CPD} , что можно осуществить путем измерения V_K перед осаждением заряда, т.е. при $V_S = 0$. Измерив значение V_S после осаждения заряда, можно найти электрическую емкость диэлектрика C или его удельную емкость C_r :

$$C = \frac{Q}{V_S}; \quad C_r = \frac{\sigma}{V_S}. \quad (3)$$

За счет утечки через диэлектрик, заряд на поверхности образца будет уменьшаться. Ток утечки i_{leak} при этом определяется как первая производная от заряда по времени. В соответствии с (3), поверхностный потенциал при этом также будет уменьшаться по закону

$$\frac{\partial V_S}{\partial t} = C \frac{\partial Q}{\partial t} = C \cdot i_{leak} = C_r \cdot j_{leak}, \quad (4)$$

где j_{leak} – плотность тока утечки.

Отсюда, измерив указанным способом удельную емкость диэлектрика и скорость спада поверхностного потенциала, можно определить искомую плотность тока утечки

$$j_{leak} = \frac{V_S}{\sigma} \frac{\partial V_S}{\partial t}. \quad (5)$$

3. После выполнения измерений разряжают поверхность образца, например, с помощью ультрафиолетового излучения.

Для используемых в настоящее время структур "кремний-диэлектрик" плотность тока утечки находится в пределах $10^{-12} \dots 10^{-9}$ А/см² [3]. При исходной поверхностной плотности осажденного заряда не более 10^{-7} Кл/см².

его влияния. Дополнительным недостатком способа является отсутствие возможности учета влияния мешающего параметра на чувствительность к измеряемому параметру. В предлагаемом способе контроля изделий из электропроводящих материалов, снимают годограф при вариации зазора на бездефектном участке изделия и на участке, содержащем калибровочный дефект. При изменении зазора до расстояния, на котором влиянием объекта контроля на сигнал вихретокового преобразователя можно пренебречь, изменяют фазу тока возбуждения вихретокового преобразователя так, чтобы сигнал от дефекта совпадал с направлением одной из комплексной плоскости. Наличие и относительную величину дефекта на контролируемом участке устанавливают по относительной величине приращения сигнала в направлении выбранной оси от годографа, соответствующего бездефектному участку относительно сигнала калибровочного дефекта, а относительную величину зазора устанавливают по приращению сигнала в ортогональном направлении, выбранной оси комплексной плоскости от уровня, соответствующего минимальному зазору, относительно сигнала максимального зазора.

Отстройка от влияния мешающих параметров объекта на результаты измерения контролируемых параметров во всем диапазоне мешающих параметров, осуществляется за счет перехода от использования ограниченного участка годографа, который с достаточной точностью может считаться прямой линией, к годографу влияния мешающего параметра во всем возможном диапазоне его изменения, которые снимаются на бездефектном участке изделия и на участке с калибровочным дефектом. После этого, изменяют фазу тока возбуждения вихретокового преобразователя так, чтобы сигнал от дефекта совпадал с направлением одной из осей комплексной плоскости. Наличие и относительную величину дефекта на контролируемом участке устанавливают по относительной величине приращения сигнала в направлении выбранной оси от годографа, соответствующего бездефектному участку относительно сигнала калибровочного дефекта, а относительную величину зазора устанавливают по приращению сигнала в направлении, ортогональном выбранной оси комплексной плоскости от уровня, соответствующего минимальному зазору относительно сигнала максимального зазора.

Повышение точности контроля, по сравнению с другими способами контроля, достигается за счет исключения влияния на результаты измерения контролируемого параметра изменений мешающего параметра, во всем возможном изменении его величины.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Дорофеев, А. Л.** Электромагнитная дефектоскопия / А. Л. Дорофеев, Ю. Г. Казаманов. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1980. – С. 99–100.

Email: andrey.khvostov@gmail.com

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ФАЗОВОГО МЕТОДА
КОНТРОЛЯ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОТСЛОЕНИЙ ИЗОЛЯЦИОННЫХ
ПОКРЫТИЙ ПОДЗЕМНЫХ НЕФТЕГАЗОПРОВОДОВ

В. С. ЦИХ

«ИВАНО-ФРАНКОВСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ НЕФТИ И ГАЗА»
Ивано-Франковск, Украина

Возможности бесконтактного поиска мест повреждений изоляционного покрытия подземных нефтегазопроводов на сегодняшний день, в первую очередь, связывают с использованием электромагнитного амплитудного метода контроля, который основан на измерении величины тока в стенках исследуемого трубопровода. С помощью такого метода возможно правильное трассирование подземного трубопровода, а по изменению величины тока в стенках исследуемого нефтегазопровода, можно судить о наличии повреждений в изоляционном покрытии.

Но использование амплитудного электромагнитного метода контроля не позволяет обнаруживать повреждения подземных нефтегазопроводов типа «отслоение изоляционного покрытия». Это связано с тем, что изменения величины амплитуды токового сигнала напрямую зависят от вытекания тока в грунт, что наблюдается только в случае сквозных дефектов изоляционного покрытия. Поиск отслоений изоляции, на данное время, возможен исключительно в шурфах, что является дорогим и неэффективным способом.

По мнению авторов, более перспективным бесконтактным методом для определения изоляционных повреждений является электромагнитный фазовый метод контроля. Но на данное время такой метод реализован только в приборах контроля подземных кабельных линий производства русской компании «Связьприбор» (разработанные приборы – «Поиск-310Д-2М» и «Поиск-410»).

В основу следующего метода положен тот факт, что трубопровод является искусственной «длинной линией», характеризующейся распределённой электрической ёмкостью, обусловленной состоянием изоляционного покрытия, и распределённой индуктивностью, которая слабо зависит от параметров трубопровода. В результате, скорость распространения электрических сигналов по трубопроводу становится существенно ниже скорости света. При этом по мере удаления от генератора, увеличивается задержка распространения сигнала и изменяется величина сдвига фазы [1].

Перспективным может быть применение электромагнитного фазового метода и для контроля технического состояния изоляционных покрытий подземных нефтегазопроводов, учитывая, что скорость изменения фазы за-

КОНТРОЛЬ ТОКОВ УТЕЧКИ ДИЭЛЕКТРИКА НА ОСНОВЕ
ВОЗДЕЙСТВИЯ КОРОННЫМ РАЗРЯДОМ И БЕСКОНТАКТНОЙ
РЕГИСТРАЦИИ ПОВЕРХНОСТНОГО ПОТЕНЦИАЛА

А. Л. ЖАРИН, О. К. ГУСЕВ, Р. И. ВОРОБЕЙ, А. К. ТЯВЛОВСКИЙ,
К. Л. ТЯВЛОВСКИЙ, А. И. СВИСТУН
«БЕЛОРУССКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
Минск, Беларусь

Качество подзатворного диэлектрика является одним из определяющих параметров при производстве полевых транзисторов с МОП-структурой и интегральных микросхем на их базе. Для его оценки может использоваться такой параметр, как ток утечки диэлектрика, в наиболее полной мере характеризующий его способность выполнять целевую функцию. В то же время, существующие методы контроля тока утечки диэлектрика связаны с созданием на поверхности контролируемого образца постоянных или временных металлических контактов и, таким образом, не обеспечивают требуемой оперативности контроля и не являются неразрушающими по отношению к чистым поверхностям.

Предлагаемый метод контроля не требует нанесения металлических контактов, а необходимая разность потенциалов между поверхностью диэлектрика и полупроводниковой подложкой создается путем воздействия на образец коронным разрядом. В результате такого воздействия на поверхность образца временно осаждаются (в зависимости от полярности разряда) ионизированные молекулы углекислого газа или паров воды, присутствующих в атмосфере. После проведения измерений осажденный заряд может быть легко удален, например, путем ионизации воздуха над образцом ультрафиолетовым излучением, или же промывкой образца в деионизованной воде. Важными достоинствами коронного разряда как источника заряжения поверхности диэлектрика являются:

- отсутствие необходимости в использовании вакуумной камеры (разряд происходит в воздухе при нормальном давлении);
- близкая к нулю кинетическая энергия ионов, достигающих поверхности образца, что исключает ее повреждение ионной бомбардировкой;
- возможность точного контроля количества осажденного заряда и его поверхностной плотности.

Схема реализации метода показана на рис. 1. Алгоритм контроля включает 3 основных этапа.

1. Исследуемый образец со структурой "кремний-диэлектрик" помещается под источник коронного разряда. На поверхность образца осуществляется осаждение заряда, величина которого контролируется путем интегрирования тока коронного разряда по времени:

В ноябре 2008 Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии РФ от 13.11.2008г. №309-ст. утвержден и введен в действие новый стандарт ГОСТ Р 53006-2008 «Оценка ресурса потенциально опасных объектов на основе экспресс-методов. Общие требования».

К экспресс-методам отнесены пассивные методы НК, использующие внутреннюю энергию металла конструкций:

- метод акустической эмиссии (АЭ);
- метод магнитной памяти металла (МПМ);
- тепловой контроль.

Эти методы получили в настоящее время наибольшее распространение на практике для ранней диагностики повреждений оборудования и конструкций. Принципиальным отличием такого подхода к оценке ресурса является выполнение 100 % обследования ОК с выявлением всех потенциально опасных зон концентрации напряжений (ЗКН) – источников возникновения повреждений при дальнейшей эксплуатации оборудования.

В национальном стандарте ГОСТ Р 53006-2008 отражены также следующие основные положения:

- в качестве основных критериев предельного состояния металла предлагается использовать фактические энергетические характеристики, которые можно определить методами МПМ, АЭ и тепловым методом;
- предложена структурная схема определения остаточного ресурса с акцентом на современные экспресс-методы технической диагностики;
- поверочные расчеты на прочность с оценкой остаточного ресурса предлагается выполнять для ЗКН, остающихся в эксплуатации, с учетом фактических структурно-механических свойств металла, выявленных при обследовании;
- учтены рекомендации национального стандарта ГОСТ Р 52330-2005.

В 2010 г. Ростехрегулированием утверждены два новых национальных стандарта [1, 2], устанавливающих общие требования к классификации методов НК НДС и общие требования к порядку выбора методов.

В заключении необходимо отметить, что в отличие от нормативно-метрологических проблем – объективных проблем, путь решения которых понятен и отмечается в данной статье, психологические проблемы, которые необходимо преодолеть специалистам в области НК НДС, носят уже субъективно-массовый характер. Насколько быстро будут преодолены психологические проблемы в восприятии широким кругом специалистов новых требований к средствам и методам НК НДС, настолько быстро мы приблизимся к объективной оценке ресурса оборудования и конструкций.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **ГОСТ Р 53966-2010.** Контроль неразрушающий. Контроль напряженно-деформированного состояния материала конструкций. Общие требования к порядку выбора методов.
2. **ГОСТ Р 53965-2010.** Контроль неразрушающий. Определение механических напряжений. Общие требования к классификации методов.

висит от толщины и состояния таких покрытий, что в свою очередь, позволяет делать соответствующие выводы, анализируя ход фазы.

В [2] описаны возможности использования электромагнитного фазового метода обследований для контроля технического состояния изоляционных покрытий подземных нефтегазопроводов. В отличие от амплитудного, использование такого метода позволяет выявлять высокоумные повреждения изоляционного покрытия.

Согласно выводам, сделанных в [1–3], можно подытожить, что величина фазы и ее изменения, вследствие проведения измерений, не зависят от величины амплитуды принятого сигнала, а зависят исключительно только от электрических параметров исследуемого трубопровода и электрических характеристик его изоляционного покрытия, для заданной частоты сигнала.

Таким образом, согласно с [2–4] и учитывая наличие повреждения типа «отслоение изоляционного покрытия», смещение фазы входного сигнала будет рассчитываться по формуле (1):

$$\varphi_{отсл} = 2\pi f \sqrt{\frac{R_{из} \cdot L_T \cdot C_{из} \cdot C_{II}}{(Z_i + R_T + R_{ГР} + R_{из}) \cdot (C_{из} + C_{II})}}, \quad (1)$$

где Z_i – выходное сопротивление генератора; R_T, L_T – сопротивление и индуктивность трубопровода; $R_{ГР}$ – сопротивление грунта; $R_{из}, C_{из}$ – сопротивление и емкость изоляционного покрытия; C_{II} – емкость повреждения изоляционного покрытия (отслоение изоляции).

На рис. 1 отображены графики изменения сдвига фазы от разных величин отслоений изоляционного покрытия, а также на разных рабочих частотах. На рис. 2 приведены графики зависимости сдвига фазы в случае наличия сквозных повреждений изоляционного покрытия подземных нефтегазопроводов.

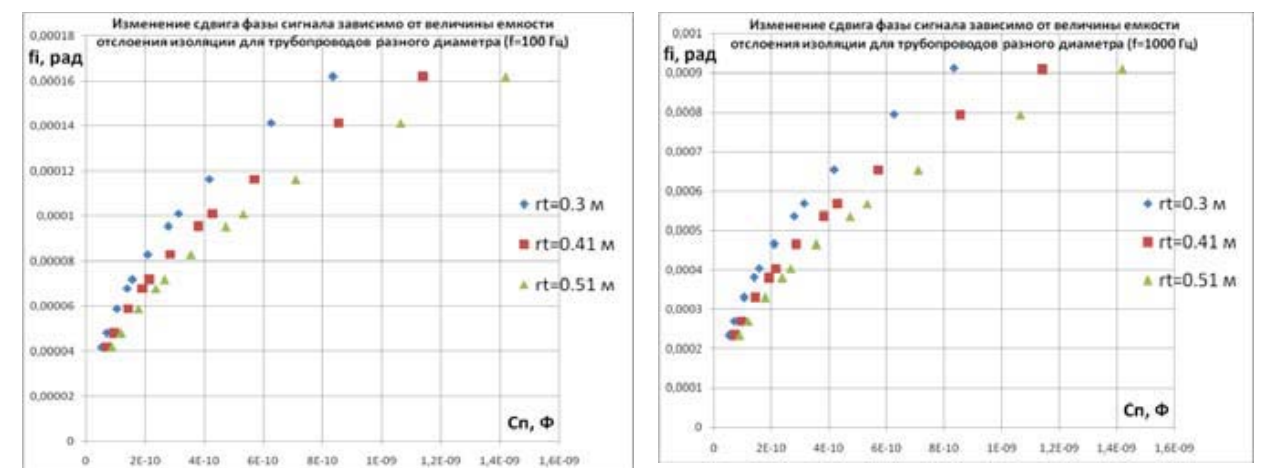


Рис. 1. Графики изменения сдвига фазы сигнала от величины емкости отслоения для трубопроводов разного диаметра на частотах 100 Гц и 1000 Гц соответственно

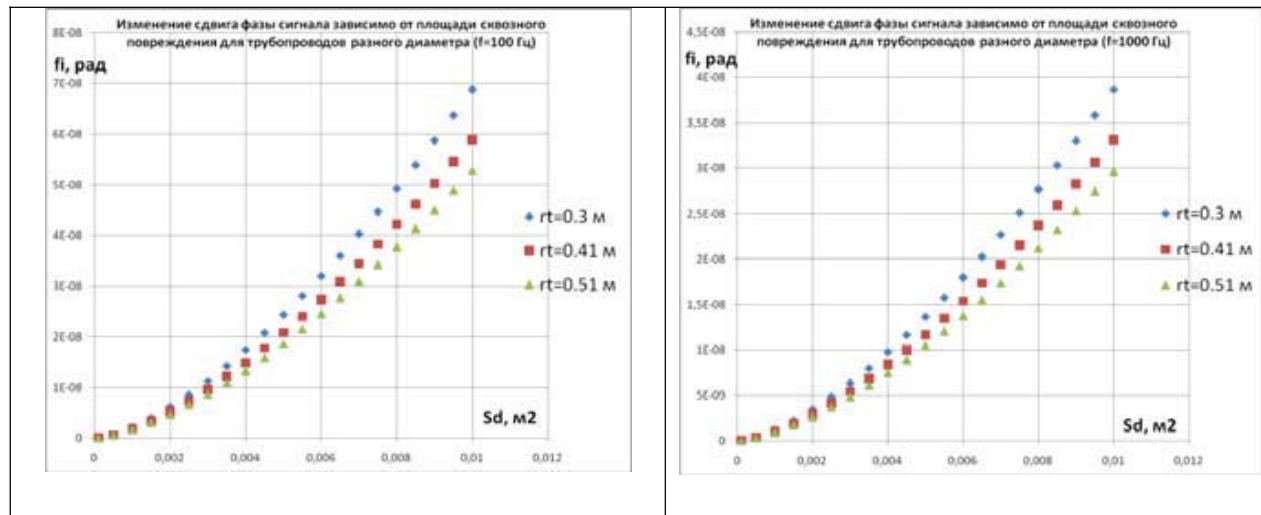


Рис. 2. Графики изменения сдвига фазы сигнала от площади сквозного повреждения для трубопроводов разного диаметра на частотах 100 Гц и 1000 Гц соответственно

По графикам рис. 1, 2 можно сделать заключение о том, что в случае наличия отслоений изоляционных покрытий, скачок фазы входного сигнала будет на несколько порядков большим, чем сдвиг фазы в случае сквозных повреждений изоляционного покрытия, что дает возможность различать разные типы дефектов изоляции подземных нефтегазопроводов.

Таким образом, тщательный анализ электрических параметров размещенного в грунте подземного нефтегазопровода дает возможность найти зависимости изменения сдвига фазы входного сигнала, поданного на исследуемый трубопровод под влиянием разного рода дефектов. Все это дает возможность найти пути решения актуальной проблемы нефтегазового комплекса – задачи поиска мест отслоений изоляционного покрытия подземных нефтегазопроводов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Трассопоисковый приемник «Оникс». Техническое описание. Инструкция по эксплуатации. Паспорт. – М. – 2008. – 31 с.
2. Яворський, А. В. Фазовий метод контролю ізоляційного покриття підземних нафтогазопроводів / А. В. Яворський, С. П. Ващишак, А. М. Карпаш // Методи та прилади контролю якості. – 2008. – № 21 – С. 14–18.
3. Сидоров, Б. В. О расчете электрических параметров трубопроводов / Б. В. Сидоров, Л. Ф. Щербакова // Изоляция трубопроводов. Тр. ВНИИСТа. – 1982. – С. 92–109.
4. Дикмарова, Л. П. Эквивалентные электрические схемы замещения подземных трубопроводов / Л. П. Дикмарова // Радіоелектроніка і телекомунікації: Вісник ДУ «Львівська політехніка», 1998. – № 352. – С. 26–30.

E-mail: tv.vitalik@gmail.com

напряженно-деформированного состояния изделий и определение ЗКН с использованием средств неразрушающего контроля представляется в ГОСТ Р 52330-2005 наиболее важной задачей при контроле НДС.

На сегодняшний день актуальность оценки НДС встречает все большее понимание у специалистов в области обеспечения промышленной безопасности. Известно, что в обычной дефектоскопии научно обоснованных норм по допустимости размеров дефектов, с точки зрения механики разрушений, в широкой практике нет. Оценка уровня концентрации напряжений в зонах развивающихся повреждений – это недостающее звено при определении допустимости (или недопустимости) дефектов. Тема «НК НДС» в настоящее время важна как для контроля качества изделий машиностроения, так и в эксплуатации при выполнении поверочных расчетов на прочность и оценке ресурса оборудования.

НК НДС как отдельный вид контроля включен в систему добровольной сертификации персонала в области НК и диагностики РОНКТД. Тенденция развития данного направления НК и технической диагностики учтена в последней редакции международного стандарта ISO 9712 «Неразрушающий контроль. Квалификация и сертификация персонала» (2005 год), в котором, наряду с традиционными методами, введен новый вид контроля «Контроль напряжений». В 2009 году введен в действие соответствующий национальный стандарт ГОСТ Р ИСО 9712-2009 «Контроль неразрушающий. Аттестация и сертификация персонала».

В связи с вводом в действие указанных стандартов в Единой системе оценки соответствия в области промышленной, экологической безопасности в энергетике и строительстве разработано в 2010 году «Положение об аттестации персонала в области неразрушающего контроля напряженно-деформированного состояния» (СДОС-05-2010).

Положение разработано в соответствии с п. 1.7 Правил аттестации персонала в области неразрушающего контроля (ПБ 03-440-02) и принято решением бюро Наблюдательного совета от 24.09.10 №38-БНС.

Положение распространяется на организации, осуществляющие деятельность по НК НДС при изготовлении, строительстве, монтаже, эксплуатации, ремонте, техническом диагностировании и экспертизе ПБ, а также на организации, проводящие аттестацию персонала в области НК НДС.

В Положении изложены требования к квалификации персонала I, II и III уровней в области неразрушающего контроля (НК) напряженно-деформированного состояния (НДС).

Аттестации подлежит персонал, проводящий контроль объектов с применением следующих методов НК НДС: ультразвукового, радиационного, магнитного, вихретокового, визуально-измерительного, оптического, тензометрического.

В перечень методов НК НДС включены, в первую очередь, методы, на которые имеются национальные стандарты и другие руководящие документы. В дальнейшем этот перечень может изменяться и дополняться.

УДК 620.179.14
СОВРЕМЕННЫЕ СТАНДАРТЫ РОССИИ ПО НЕРАЗРУШАЮЩЕМУ
КОНТРОЛЮ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ
И ОЦЕНКЕ РЕСУРСА

А. А. ДУБОВ, А. Л. УГЛОВ
ООО «ЭНЕРГОДИАГНОСТИКА»
ТК-132 РОССТАНДАРТА
Реутов, Москва, Россия

Проблемой контроля напряжений и деформаций в работающих конструкциях с целью оценки их состояния в настоящее время занимаются все ведущие диагностические центры мира. Однако известно, что эффективность методов контроля напряжений остается низкой при их использовании на практике. Особое значение приобретает повышение эффективности неразрушающего контроля (НК) напряженно-деформированного состояния (НДС) технических объектов при оценке их ресурса.

В настоящее время накопился большой арсенал методов и средств неразрушающего контроля остаточных напряжений (ОН) в изделиях машиностроения и напряженно-деформированного состояния (НДС) промышленных объектов в условиях эксплуатации. Однако при использовании их на практике возникает много организационных и научно-технических проблем.

Среди основных организационных и технических проблем контроля НДС следует отметить:

- отсутствие метрологической базы для сертификации и поверки средств измерений характеристик НДС изделий (до сих пор в России и других странах нет единых эталонов, образцов и методик);
- непригодность большинства методов для контроля протяженных трубопроводов и крупногабаритных изделий, оборудования и сосудов;
- невозможность оценки НДС глубинных слоев металла изделий;
- недостаточность развития программ и центров обучения специалистов в области НК НДС;
- недостаток руководящих документов, излагающих общие требования к методам и средствам НК напряжений и деформаций в реальных конструкциях.

Впервые стандарт, излагающий общие требования по теме «НК НДС» подготовлен в России специалистами ООО «Энергодиагностика» совместно с ТК-132 Росстандарта и опубликован в 2005 году как ГОСТ Р 52330-2005 «Контроль неразрушающий. Контроль напряженно-деформированного состояния объектов промышленности и транспорта. Общие требования».

Известно, что основными источниками повреждений оборудования и конструкций являются зоны концентрации напряжений (ЗКН), обусловленные технологическими дефектами изготовления, рабочими нагрузками или их сочетанием. Наличие ЗКН как на новых изделиях, так и на изделиях, бывших в эксплуатации, значительно снижает их ресурс. Поэтому контроль

УДК 620.179.14
ИССЛЕДОВАНИЕ ИМПУЛЬСНОГО МЕТАЛЛОИСКАТЕЛЯ

Л. А. ЧЕРНОВ, Е. Г. ПАСТУХОВ, Д. С. МАЛУШИН
НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ «МЭИ»
Москва, Россия

В настоящее время проблема предотвращения террористических актов и различных диверсий стоит как никогда остро. Одним из наиболее эффективных способов является применение металлоискателей. Наиболее распространенной группой являются вихретоковые металлоискатели, так как их принцип работы предусматривает возможность портативного конструктивного исполнения. В их основе лежит следующий алгоритм: возбуждающая катушка создает электромагнитное поле, которое наводит вихревые токи в объекте, создающие в свою очередь поле отклика, которое регистрируется приемной катушкой. Полезная информация извлекается в результате анализа этого ответного сигнала.

Работа посвящена созданию теоретической базы для последующей разработки портативного устройства, способного не только обнаруживать металлические объекты, но и выдавать о них максимально полную информацию, а именно: материал, из которого изготовлен объект, его геометрические размеры и положение в пространстве. Также такое устройство должно быть рассчитано на поиск металлических предметов не только в центральной зоне приемной и передающей катушек, характеризующей максимальной чувствительностью прибора, но и на некотором расстоянии от них. Последнее свойство сделает прибор незаменимым для поиска скрытых нежелательных объектов, например, в строительных конструкциях, когда нет прямого доступа к объекту контроля. С учетом статистических данных о средней толщине стен, дальность обнаружения металлического объекта должна быть около 200 мм. Минимальный размер объекта на таком расстоянии должен быть не более 12 мм.

Таким образом, предстояло провести исследование физических основ взаимодействия возбуждающей катушки, объекта и приемной катушки, создать математическую модель, описывающую это взаимодействие, осуществить выбор формы возбуждающего импульса, позволяющей провести численный расчет взаимодействия возбуждающей катушки, объекта и приемной катушки, и обеспечивающей получение максимального количества информации. Все вычисления были произведены в среде MathCAD путем создания программного алгоритма, представляющего собой гибкую математическую модель расчета сигналов приемника с возможностью изменения различных параметров объекта.

Рассмотрим основные результаты проведенных исследований. Во-первых, на основе анализа существующих форм возбуждающего импульса

были сформулированы их основные недостатки и предложена оптимальная форма – трапециевидная. Данная форма возбуждающего импульса тока отвечает всем условиям. А именно, обеспечивается разнесение во времени действия возбуждающего импульса и регистрации данных, наводимых «откликом» в приемной катушке. ЭДС в объекте наводится только на участках с линейно изменяющимся током возбуждения. А когда ток в катушке постоянен, производная поля равна нулю и ЭДС в объекте отсутствует. Именно в этот момент предполагается регистрация наводимого в приемной катушке напряжения «отклика» от затухающего в объекте тока. Также, если длительность соответствующих участков трапеции достаточна, то будет соблюдаться и условие «накачки» объекта током. Для этого необходимо, чтобы за время длительности импульса линейно изменяющегося тока возбуждения, ток в объекте успевал достигнуть установившегося значения. Также были рассмотрены два варианта решения задачи по расчету тока в эквивалентном витке при воздействии на него трапециевидным полем: кусочный анализ с помощью расчета эквивалентных схем и разложение функции возбуждающего поля в ряд Фурье, то есть для каждой гармоники отдельно с последующим суммированием.

В ходе анализа была доказана возможность решения с помощью разложения функции возбуждающего поля в ряд Фурье и, оценив возникающую погрешность, определено количество гармоник порядка тысячи, при котором точность метода становится допустимой. После этого был произведен анализ распределения наведенных вихревых токов в проводящем объекте дисковой формы.

E-mail: tabulyator@rambler.ru

УДК 6817.068:531.717.55

УСТРОЙСТВО ДЛЯ ДИАГНОСТИКИ ФОРСУНОК ДИЗЕЛЬНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ С СИСТЕМОЙ ВПРЫСКА COMMON RAIL

А. Д. ДЕДКОВ, А. А. АФАНАСЬЕВ, В. Ф. ГОГОЛИНСКИЙ,
В. В. ПИСАРИК

ГУ ВПО «БЕЛОРУССКО-РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
Могилев, Беларусь

Парк автомобилей с дизельными двигателями с каждым годом увеличивается, что обуславливается их экономичностью и лучшими экологическими параметрами в сравнении с бензиновыми. В Европе около половины всех автомобилей работают на дизельном топливе, растет число таких автомобилей и в странах СНГ. Большинство современных дизельных двигателей оснащается топливной системой Common rail, разработанной в Швейцарии. Особенностью двигателей с системой Common rail является то, что наличие и показатели давления в цилиндрах не зависят от частоты вращения двигателя, а уровнем впрыска можно управлять. Это увеличивает производительность двигателя, при этом снижается уровень вредных выбросов в атмосферу.

Наиболее уязвимая часть системы непосредственного впрыска топлива – форсунки. В процессе работы они подвергаются большим нагрузкам, что приводит к их износу, поломкам и, как следствие, к негативному влиянию на работу других агрегатов двигателя. Актуальной в такой ситуации становится задача диагностики и ремонта форсунок.

Для всестороннего исследования состояния форсунок разработаны средства и методика, которая предусматривает их демонтаж с двигателя, установку на специальное стендовое оборудование, где создаются условия, идентичные реальным условиям работы: давление в момент впрыска, время и частота впрыска. Это позволяет проверить форсунку на герметичность, на производительность, определить направление и форму факела распыла топлива. Установка для диагностирования состоит из следующих узлов: топливного бака, насоса высокого давления, топливной рампы, датчика давления, регулятора давления, датчика температуры, измерительных мензурок. Для управления работой этого оборудования был разработан специальный микропроцессорный электронный блок, имитирующий работу бортового компьютера автомобиля совместно с его топливной системой. Он обеспечивает генерирование управляющих электрических импульсов специальной формы и подачу их на электромагнитные клапаны форсунок, регулировку давления в системе впрыска, обработку сигналов, получаемых от датчиков, отображение осциллограмм тока и графиков изменения давления, измерение времени срабатывания электромагнитного клапана форсунки.

виде откола (А) и железного включения (Б). На рис. 3 представлено сравнение модели поля идеального кольцевого магнита (1, рис. 3) и аналогичного магнита с дефектами (2, рис. 3).

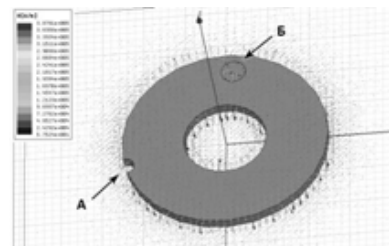


Рис. 2. Моделирование распределения магнитного поля кольцевого магнита с дефектами

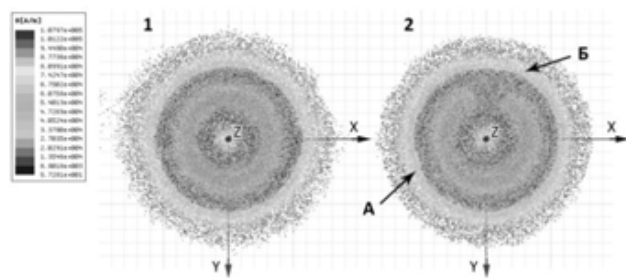


Рис. 3. Моделирование распределения магнитного поля кольцевого магнита: 1 – идеальный кольцевой магнит; 2 – кольцевой магнит с дефектами: отколом (А) и с включением железа (Б)

Сканирование магнитного поля образцов выполняется с помощью позиционера с установленным на нем магнитоизмерительным зондом. Объект сканирования может поворачиваться с помощью поворотного устройства. Магнитный зонд измеряет магнитное поле испытуемого образца, установленного на поворотный столик, и передает данные в программу. На рис. 4 приведены рабочие окна программы для работы с установкой.

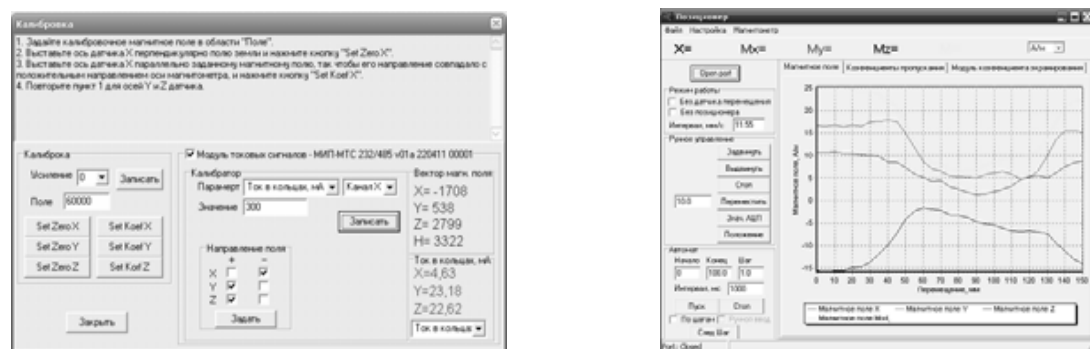


Рис. 4. Рабочие окна программного обеспечения

Программное обеспечение формирует и отображает в наглядном виде массивы значений магнитного поля с привязкой к перемещению магнитного зонда и углу поворота испытуемого образца на поворотном столике.

УДК 620.179.15

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ПРОНИЦАЕМОСТИ МАТЕРИАЛОВ С ПОМОЩЬЮ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СВЧ-ВОЛНОВОДОВ

В. И. БОРИСОВ, А. В. КАРПЕНКО

ГУ ВПО «БЕЛОРУССКО-РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Могилев, Беларусь

Диэлектрические волноводы составляют основу волоконных и интегрально-оптических устройств. Но в задачах радиоволнового неразрушающего контроля диэлектрические волноводы применяются недостаточно, хотя их использование дает возможность расширить методологические основы такого контроля, это обусловлено тем, что моды диэлектрических волноводов представляют собой неоднородные (эванесцентные) волны, которые распространяются не только по материалу диэлектрического волновода, но также проникают в граничную с волноводом среду, окружающую волновод. Глубина проникновения их в граничную среду зависит от разности диэлектрических проницаемостей материала из которого изготовлен волновод и окружающей волновод среды. Для воздушной среды эта глубина проникновения порядка длины волны излучения, распространяющегося по волноводу, что при применении электромагнитных волн сантиметрового диапазона позволяет расположить вблизи поверхности волновода различные управляющие и регистрирующие устройства.

В предлагаемой работе приводятся результаты измерения диэлектрической проницаемости некоторых полимерных и жидких материалов на длине волны 32 мм. Измерения для полимерных слоистых материалов проводились на экспериментальной установке, схема которой приведена на рис. 1, а.

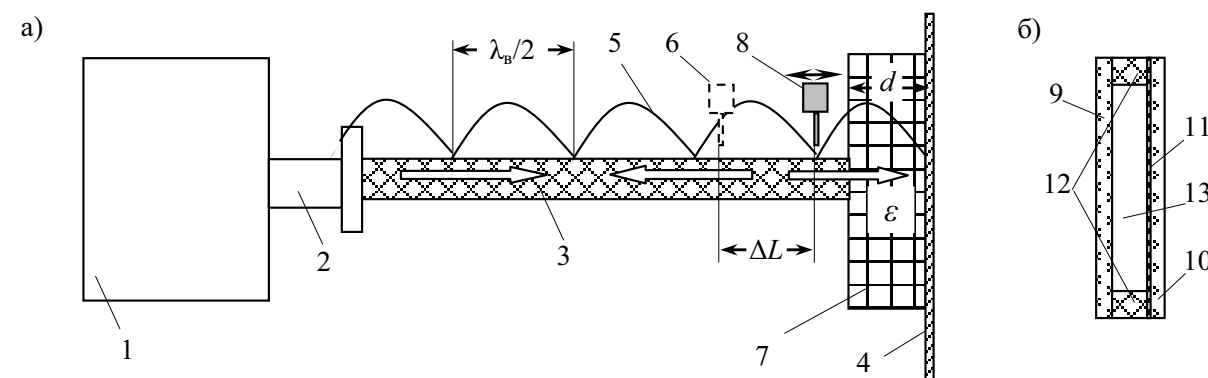


Рис. 1. Схема экспериментальной установки

СВЧ-излучение от генератора Г4-109 через металлический волновод 2 вводится в одномодовый диэлектрический волновод 3 прямоугольного поперечного сечения размерами 23 × 10 мм, изготовленный из фторопласта.

Пройдя по волноводу 3, волна отражается от плоского алюминиевого зеркала 4, которое изначально устанавливается вплотную к выходному торцу диэлектрического волновода 3. В результате в волноводе образуется стоячая волна 5, период которой равен половине длины волны в волноводе $\lambda_{\text{в}}$. Так как в работе используется одномодовый диэлектрический СВЧ-волновод, в котором электромагнитная волна распространяется в виде основной моды с эффективным показателем преломления $n_{\text{эф}}$, то вблизи поверхности волновода также образуется стоячая волна с тем же периодом, что и в волноводе. Использование же в качестве отражателя СВЧ-излучения металлического зеркала приводит к тому, что узел стоячей волны всегда располагается на поверхности зеркала от которой отражается излучение. Для регистрации распределения излучения в стоячей волне вблизи поверхности волновода устанавливается зонд детекторной секции 6 в такое положение, где наблюдается узел стоячей волны. Этот зонд имеет возможность перемещаться контролируемым образом вдоль продольной оси волновода. Между выходным торцом волновода и металлическим зеркалом располагается контролируемый образец 7 с неизвестной диэлектрической проницаемостью ε и известной толщиной d . Он устанавливается таким образом, что одна его поверхность располагается вплотную к выходному торцу волновода, а другая – вплотную к поверхности зеркала. После установки зеркала, узлы стоячей волны смещаются в направлении зеркала на расстояние ΔL , которое измеряется перемещением зонда в новое положение 7. Оптический путь, проходимой СВЧ-волной по волноводу на расстоянии ΔL , равен оптическому пути проходимой волной через контролируемый образец, из чего определяется расчетная формула для неизвестной диэлектрической проницаемости:

$$\varepsilon = \left(\frac{\Delta L \cdot n_{\text{эф}}}{d} \right)^2. \quad (1)$$

Для измерения диэлектрической проницаемости жидкостей в описанной выше установке вместо полимерного образца 7 и зеркала 4 устанавливается кювета (рис. 1. б), состоящая из двух стеклянных пластинок 9 и 10, на одну из которых в данном случае 10, нанесено алюминиевое покрытие 11, играющее роль зеркала для СВЧ-волны. Пластинка 9 устанавливается в контакте с выходным торцом диэлектрического волновода. Толщина кюветы определяется толщиной полимерных пластинок 12, к которым приклеены стеклянные пластины 9, 10. Размеры кюветы в плоскости, перпендикулярной оси волновода превышали его размеры на 3 см по обоим направлениям для того, чтобы неоднородные волны волновода распространялись через измерительную кювету. При измерениях диэлектрической проницаемости жидкостей сначала устанавливается пустая кювета и в этом положении определяется положение узла стоячей волны, а затем, не снимая кюветы, в нее наливается контролируемая жидкость и определяется новое положение того же самого

УДК 537.6

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ УСТАНОВКА ДЛЯ КОНТРОЛЯ МАГНИТНОГО ПОЛЯ МАГНИТОВ, МАГНИТОПРОВОДОВ, МАГНИТНЫХ ЭКРАНОВ И СЕРДЕЧНИКОВ

С. А. ГРИШИН, А. Н. БУЙ, А. Л. ПЕТЮК

ГНУ «ИНСТИТУТ ФИЗИКИ им. Б. И. Степанова НАН Беларуси»

Минск, Беларусь

В работе представлены результаты разработки автоматизированной установки для исследования и контроля качества магнитов, магнитопроводов, магнитных экранов и сердечников. В состав установки входят: персональный компьютер, позиционер, сменные магнитоизмерительные зонды, датчики и поворотное устройство (рис. 1).

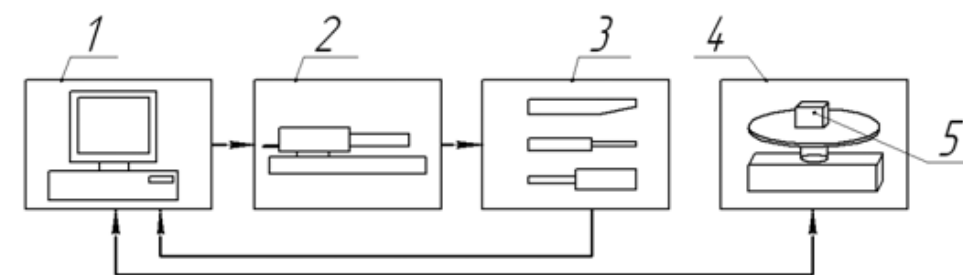


Рис. 1. Автоматизированная установка контроля качества магнитов: 1 – персональный компьютер; 2 – позиционер; 3 – измерительные зонды; 4 – поворотное устройство; 5 – объекты испытаний (магниты, кольца, сердечники, экраны)

Управление позиционером и поворотным устройством, а также съем информации с зондов и датчиков осуществляется с помощью персонального компьютера с использованием разработанного программного обеспечения.

В систему магнитного сканирования входят следующие магнитоизмерительные зонды и датчики:

– зонд 1 с диапазоном измерения магнитного поля – 100 нТл ÷ 80 мкТл (измеряются три компонента вектора напряженности магнитного поля и его модуль), зонд 2 с диапазоном – 50 мкТл ÷ 3 Тл, зонд 3 с диапазоном – 300 мТл ÷ 3 Тл;

– датчик линейных перемещений с диапазоном перемещения 150 мм, концевые выключатели, датчик угла поворота.

Автоматизированная установка позволяет определять неоднородности и искажения магнитного поля. Для исследуемых образцов проводится сканирование магнитного поля, по результатам сканирования строятся картины распределения магнитного поля, которые сравниваются с результатами компьютерного моделирования и паспортными данными. На рис. 2 представлен результат моделирования поля кольцевого магнита с дефектами в

Несущая способность сварного соединения определялась характером разрыва арматурного стержня. Результаты предварительных испытаний крестообразных соединений на разрыв показали различный характер разрыва испытанных образцов (48 штук): по стержню в зоне сварного шва – 81 %, по сварному шву – 19 %. При этом все образцы выдержали нормативную нагрузку.

Все образцы крестообразного соединения, приваренного с двух сторон, имели характер разрушения по стержню в зоне сварного шва, что говорит о достаточной прочности сварного шва даже при нагрузке превышающей нормативную на 80–90 %.

В то же время, образцы крестообразного соединения, приваренного с одной стороны, имели различный характер разрушения. При испытании на разрыв распределительной арматуры $d'_n = 4$ мм, все образцы имели одинаковый характер разрушения – по стержню в зоне сварного шва. При разрыве распределительной арматуры $d'_n = 5$ мм по сварному шву разрушилось 75 % образцов. Однако стоит учитывать тот факт, что во время испытаний разрушающая нагрузка превышала нормативную почти на 90 %.

Экспериментальные исследования показали, что крестообразные соединения арматуры диаметрами менее 10 мм, выполненные дуговой сваркой полуавтоматами в среде активного газа плавящимся электродом, обеспечивают требуемое значение предела прочности и выдерживают нагрузки на много превышающие нормативные. Исследования в данной области продолжаются. В дальнейшем полученные результаты экспериментальных исследований позволят усовершенствовать технологический процесс армирования стеновых панелей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **СТБ 2174-2011.** Изделия арматурные сварные для железобетонных конструкций. Технические условия. – Введ. 2011–02–23. – Минск: Госстандарт, 2011. – 46 с.

E-mail: veronica-vr-007@yandex.ru

узла стоячей волны. По величине сдвига узла формула (2) рассчитывается диэлектрическая проницаемость.

$$\varepsilon = \left(\frac{\Delta L \cdot n_{y\delta}}{d} + 1 \right)^2. \quad (2)$$

Эффективный показатель преломления волноводной моды определяется на применяемой экспериментальной установке следующим образом. Вплотную к выходному торцу волновода устанавливается металлическое зеркало для образования в волноводе стоячей волны, а затем путем перемещения зонда детекторной секции вдоль продольной оси волновода определяется период стоячей волны в волноводе. Для уменьшения погрешности величины периода стоячей волны измеряется расстояние вдоль оси волновода, соответствующее 7–10 периодам, с последующим делением этого расстояния на число периодов. Тогда эффективный показатель преломления моды волновода равен отношению половины длины используемого СВЧ-излучения к периоду стоячей волны в волноводе.

Расчет диэлектрической проницаемости по формулам (1, 2) необходимо проводить для твердых и жидких слоев, толщина которых не превышает половину длины волны используемого излучения в материале контролируемого образца. Это ограничение связано с тем, что при измерении, порядок интерференционного минимума при постановке контролируемого образца не должен изменяться. Однако измерения можно проводить и при перемещениях зонда детекторной секции на величину более одного порядка, если известно приблизительное значение диэлектрической проницаемости контролируемого материала.

Были проведены измерения относительной диэлектрической проницаемости полистирола, фторопласта, винипласта, органического стекла и плавленного кварца, усредненные по 10 независимым измерениям. Они дали следующие результаты:

- для образца из полистирола толщиной 2,7 мм – $\varepsilon=1,86\pm 0,10$.
- для образца из фторопласта толщиной 3,2 мм – $\varepsilon=1,56\pm 0,05$.
- для винипластового образца толщиной 7,7 мм – $\varepsilon=3,01\pm 0,14$.
- для образца из оргстекла толщиной 5 мм – $\varepsilon=3,31\pm 0,09$.
- для образца из плавленного кварца марки КВ толщиной 14 мм – $\varepsilon=4,43\pm 0,02$.

По результатам 16 измерений было получено значение диэлектрической проницаемости водопроводной воды: $31,7\pm 0,7$.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КРИВЫХ БЕЗЬЕ ДЛЯ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ
ОСНОВНОЙ КРИВОЙ НАМАГНИЧИВАНИЯ И ПЕТЕЛЬ МАГНИТНОГО
ГИСТЕРЕЗИСА МАГНИТОМЯГКИХ МАТЕРИАЛОВ

И. И. БРАНОВИЦКИЙ, И. Т. СКУРТУ

ГНУ «ИНСТИТУТ ПРИКЛАДНОЙ ФИЗИКИ НАН БЕЛАРУСИ»

Минск, Беларусь

Различные этапы жизненного цикла электрических машин, в том числе проектирование и диагностика, получают качественно новый уровень сопровождения при использовании их математического моделирования, включая магнитную цепь. Адекватная модель позволяет минимизировать затраты на оптимизацию конструкции, повысить КПД готового изделия, а также увеличить информативность различных видов диагностики (посредством совместного использования данных моделирования и данных реальных аппаратных испытаний устройств).

Предлагаемая модель основывается на анализе распределения кривизны у основных кривых намагничивания и петель гистерезиса. Все они, как статические, так и динамические, имеют два экстремума кривизны. Естественно заключить, что кривой, имеющей два экстремума кривизны и обладающей достаточной гибкостью, можно описать широкий класс гистерезисных процессов. Такими кривыми могут быть, в частности, кривые Безье, на основе полиномов Бернштейна. Являясь параметрическими и задаваемыми точками, находящимися вне экспериментальных данных, они позволяют получить более высокий уровень гибкости представления, по сравнению с методами на основе точек, принадлежащих данной кривой. Геометрически, точки, не лежащие на кривой, управляют распределением кривизны, позволяя оперировать с широчайшим классом кривых.

В общем (векторно-полиномиальном) виде кривая Безье определяется как:

$$\mathbf{B}(t) = \sum_{i=0}^n J_{n,i}(t) \mathbf{P}_i, \quad t \in [0, 1]. \quad (1)$$

Здесь $J_{n,i}(t) = \binom{n}{i} (1-t)^{n-i} t^i$ – это i -я функция базиса Бернштейна порядка n ,

\mathbf{P}_i – координаты i -й точки. В свою очередь, n , являющееся порядком определяющей Бернштейновской функции на единицу меньше количества точек определяющего многоугольника. Также можно записывать кривые Безье в более удобном для использования в системах компьютерной математики матричном виде:

$$\mathbf{B}(t) = [\mathbf{F}][\mathbf{G}]. \quad (2)$$

Механические испытания соединений выполнялись на разрывной машине путем приложения к образцам одноосной растягивающей нагрузки [1]. Погрешность измерения составляла $\pm 1\%$.

По результатам серии испытаний крестообразных соединений на разрыв получили следующие значения разрушающей нагрузки для узлов крестообразных соединений (табл. 1). Для сравнения в таблице приведены нормативные значения по разрушающей нагрузке для такого типа соединений.

Табл. 1. Результаты испытаний крестообразных соединений на разрыв

Тип свариваемой арматуры, мм $d'_n - d_n$	Сварка арматурных стержней					
	с одной стороны			с двух сторон		
	Разрушающая нагрузка, σ' , кН	Нормативная разрушающая нагрузка σ_n , кН	Характер разрыва	Разрушающая нагрузка, σ' , кН	Нормативная разрушающая нагрузка σ_n , кН	Характер разрыва
4 - 5	12,4	6,30	по стержню в зоне сварного шва	12,0	6,30	по стержню в зоне сварного шва
	12,8			12,4		
	12,6			12,4		
4 - 6	12,0			15,0		
	13,2			13,8		
	13,4			13,2		
4 - 8	13,8			13,3		
	12,8			13,4		
	12,2			13,5		
4 - 10	12,5			13,4		
	11,9			13,1		
	14,2			13,9		
5 - 5	14,8	9,85	по сварному шву	17,6	9,85	по стержню в зоне сварного шва
	17,6			15,0		
	17,4			17,2		
5 - 6	18,0			18,2		
	17,4			17,8		
	16,2			17,8		
5 - 8	15,1			17,8		
	17,8			17,7		
	18,2			18,8		
5 - 10	15,0			19,0		
	14,3			18,0		
	16,2			19,2		

В. В. ВРУБЛЕВСКАЯ, А. А. ВАСИЛЬЕВ, *Д. М. ГУРСКИЙ
УО «БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ТРАНСПОРТА»

*ОАО «ГОМЕЛЬСКИЙ ДОМОСТРОИТЕЛЬНЫЙ КОМИТЕТ»
Гомель, Беларусь

В настоящее время в строительстве большой объем сварочных работ приходится на сварку арматуры при изготовлении сварных арматурных изделий, закладных деталей и монтажа сборных железобетонных элементов. Основным видом стеновых железобетонных элементов являются сетки и плоские каркасы. В соответствии с требованиями нормативных документов [1] стыковку крестообразного соединения в сетках следует осуществлять контактной точечной сваркой по типу К1-Кт и К2-Кт [1], который предполагает соединение арматурных стержней диаметрами 4...32 мм сваркой в месте их пересечения.

Применение дуговой сварки полуавтоматами в среде защитных газов все больше возрастает благодаря простоте процесса сварки, возможности применения сварки в различных пространственных положениях и получения высокого качества сварных швов. Однако номинальный диаметр свариваемых стержней, согласно нормативным документам, должен быть не менее 10 мм.

Цель работы – провести механические испытания по определению прочности сцепления арматурного узла крестообразного соединения (диаметрами менее 10 мм), выполненного дуговой сваркой полуавтоматами в среде активного газа плавящимся электродом, и возможности применения такого соединения для армирования внутренних стеновых панелей типа 3 НС в ОАО «Гомельский ДСК».

Объектом исследований служил арматурный узел, выполненный в виде крестообразного соединения дуговой сваркой полуавтоматами в среде активного газа плавящимися электродами в месте их пересечения. Использовалась рабочая и распределительная арматура диаметрами $d_n = 5; 6; 8; 10$ мм и $d'_n = 4; 5$ мм. Материал образцов – сталь Ст3пс класс S500.

Сварка производилась на сварочном автомате инверторного типа КИТ500 дуговым способом в среде активного газа плавящимся электродом, на постоянном токе обратной полярности 170–190 А. На арматурные стержни наносился сварной шов типа К3-Рр [1] с одной стороны и с двух сторон.

Здесь $[F]=[J_{n,0} \ J_{n,1} \ J_{n,2} \ \dots \ J_{n,n}]$ и $[G]=[P_0 \ P_1 \ P_2 \ \dots \ P_n]^T$.

При этом наиболее подходящим решением является использование кривых Безье в рациональной форме. В этом случае, каждая задающая точка имеет свой вес, изменение которого не приводит к изменению степени полинома. Кроме того, значение веса может быть нецелочисленным, отрицательным и нулевым, что еще более увеличивает гибкость метода.

Рациональные кривые Безье имеют следующий общий векторно-полиномиальный вид:

$$B(t) = \frac{\sum_{i=0}^n J_{n,i}(t) P_i w_i}{\sum_{i=0}^n J_{n,i}(t) w_i}, \quad t \in [0, 1]. \quad (3)$$

Здесь w_i – вес i -й точки, на который умножаются её координаты.

Для описания ОКН и петель гистерезиса предлагается использовать рациональную форму на основе функций Бернштейна четвертого порядка. На рис. 1. показан общий вид и расположение задающих точек на них. Координаты всех задающих точек определяются по физическим параметрам намагничивания. В частности, для ОКН точка P_0 соответствует началу координат, P_4 – индукции и полю насыщения. Координаты же точек P_1 и P_3 определяются как координаты точек пересечения прямой, проходящей через точку максимума дифференциальной проницаемости $\mu_{dm} - (H_{\mu dm}, B_{\mu dm})$ и имеющую такой же наклон (μ_{dm}), с прямой, исходящей из начала координат с наклоном, равным начальной дифференциальной проницаемости μ_{db} , и прямой, проходящей через точку индукции насыщения (H_s, B_s) с наклоном μ_{ds} , равным дифференциальной проницаемости насыщения соответственно. Точка P_2 имеет координаты $(H_{\mu dm}, B_{\mu dm})$.

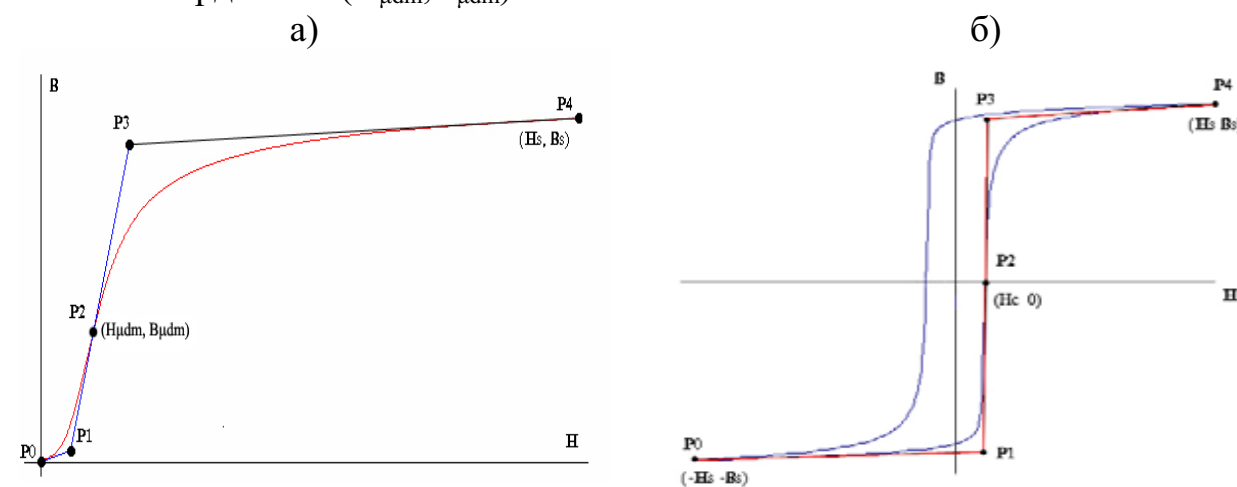


Рис. 1. Расположение задающих точек: а) для ОКН; б) для восходящей петли гистерезиса

Рассмотренный подход можно применить к описанию петли гистерезиса. Поскольку её восходящая и нисходящая ветви симметричны относительно

но начала координат, описания одной ветви достаточно для представления всего гистерезисного цикла.

Исходя из вышесказанного, матрица \mathbf{G} в формуле (2) для ОКН будет определяться как:

$$\mathbf{G}_{NMC} = \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ \frac{B_{\mu dm} - \mu_{dm} H_{\mu dm}}{\mu_{db} - \mu_{dm}} & \mu_{db} \frac{B_{\mu dm} - \mu_{dm} H_{\mu dm}}{\mu_{db} - \mu_{dm}} \\ H_{\mu dm} & B_{\mu dm} \\ \frac{B_s - B_{\mu dm} + \mu_{dm} H_{\mu dm} - \mu_{ds} H_s}{\mu_{dm} - \mu_{ds}} & \mu_{dm} \frac{B_s - B_{\mu dm} + \mu_{dm} H_{\mu dm} - \mu_{ds} H_s}{\mu_{dm} - \mu_{ds}} + B_{\mu dm} - \mu_{dm} H_{\mu dm} \\ H_s & B_s \end{bmatrix}. \quad (4)$$

Определение весовых коэффициентов точек осуществляется посредством минимизации соответствующей функции ошибки. Матрица координат задающих точек для петель гистерезиса будет определяться как:

$$\mathbf{G}_{HL} = \begin{bmatrix} \frac{-H_s}{-B_s + \mu_{dsld} H_s + \mu_{dml} H_c} & \frac{-B_s}{-B_s + \mu_{dsld} H_s + \mu_{dml} H_c} - \mu_{dml} H_c \\ \mu_{dml} \frac{\mu_{dml} - \mu_{dsld}}{H_c} & \mu_{dml} \frac{\mu_{dml} - \mu_{dsld}}{\mu_{dml} - \mu_{dsld}} - \mu_{dml} H_c \\ \frac{B_s - \mu_{dsld} H_s + \mu_{dml} H_c}{\mu_{dml} - \mu_{dsld}} & \mu_{dml} \frac{B_s - \mu_{dsld} H_s + \mu_{dml} H_c}{\mu_{dml} - \mu_{dsld}} - \mu_{dml} H_c \\ H_s & B_s \end{bmatrix}. \quad (5)$$

Здесь: μ_{dml} – максимальная дифференциальная проницаемость петли гистерезиса; μ_{dsld} – дифференциальная проницаемость насыщения восходящей петли гистерезиса; μ_{dsld} – дифференциальная проницаемость насыщения нисходящей петли гистерезиса; H_c – коэрцитивная сила; H_s , B_s – поле и индукция насыщения.

Использование при моделировании магнитных цепей функций, описывающих с помощью кривых Безье основную кривую намагничивания и петлю магнитного гистерезиса (представляющих собой одну гладкую и непрерывную во всем диапазоне полей параметрическую функцию) для оптимального сглаживания и прореживания экспериментальных данных позволяет поддерживать точность различных характеристик материала на одном уровне (соизмеримом с точностью измерения магнитных величин), а также улучшает сходимость итерационных численных методов, вследствие высокого качества (соотношение гладкости, точности и количества точек) используемых характеристик.

мерении столь малых угловых отклонений, в ряде случаев, применяется термостатирование измерительного преобразователя.

Канал ветровой нагрузки строится на базе обогреваемого двухкоординатного ультразвукового анемометра. Разработанное программное обеспечение отвечает ТКП 45-3.02-108-2008 в части требований к системам мониторинга состояния строительных конструкций. При этом обеспечивается удобный и наглядный интерфейс, ассоциативно напоминающий оператору реальный объект.

На рис. 1. для примера представлены результаты мониторинга напряжений в несущем кольце вантового покрытия спортивного комплекса "Минск-Арена" соответственно в летний и зимний период.

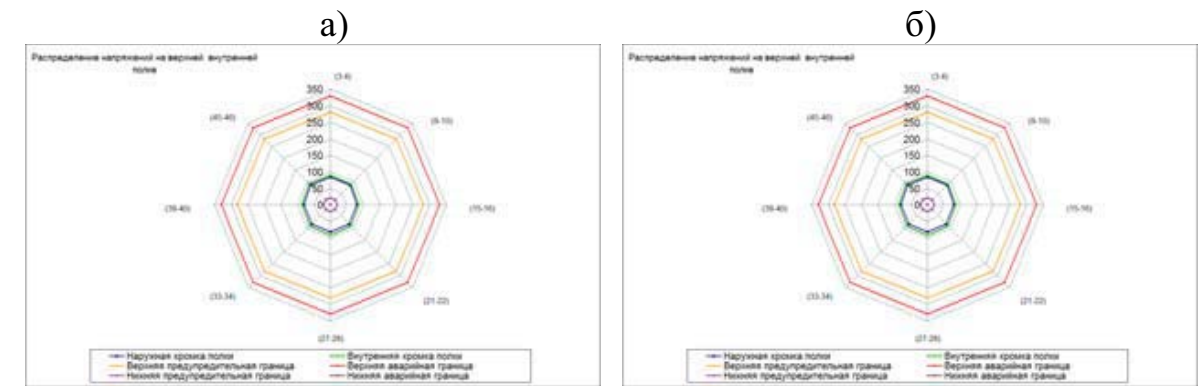


Рис. 1. Распределение напряжений в несущем кольце вантового покрытия спортивного комплекса "Минск-Арена" в летний (а) и зимний (б) периоды

На рис. 2 представлены результаты сравнения расчётных приращений деформаций опорной колонны железобетонного каркаса жилого комплекса "Парус" с данными мониторинга, полученными в ходе строительства. Расчёт выполнен ООО "ПРОЕКТСТРОЙКОНСТРУКЦИЯ".



Рис. 2. Результаты сравнения расчётных приращений деформации опорной колонны железобетонного каркаса жилого комплекса "Парус" с данными мониторинга, полученными в ходе строительства

Надо сказать, что каждый объект мониторинга требует оригинального подхода и нестандартных решений. В ИПФ накоплен обширный опыт, позволяющий оперативно создавать СМК объектов различного назначения.

Деформационный канал строится на основе магнитомеханического измерителя перемещений (деформаций) ИПДМ-1 (сертификат РФ ВУ.С.27.070А № 40305).

ИПДМ-1 состоит из датчиков перемещения (деформации) СДП-1, блока сопряжения БС-2, переносного устройства считывания ПУС и приспособления для установки датчиков (монтажное приспособление). Основные технические характеристики датчиков СДП-1 приведены в табл. 1.

Табл. 1. Основные технические характеристики датчиков СДП-1

Параметр	Значение
Диапазон измерения деформации	$2,5 \cdot 10^{-3}$
Пределы допускаемой приведенной погрешности измерения, %	$\pm 2,0$
Диапазон измерения температуры встроенным датчиком, °С	от -30 до +50
Пределы допускаемой погрешности измерения температуры, °С	± 3
Измерительная база датчика, мм	100
Диапазон сетевых адресов датчика	от 1 до 32

Каналы измерения углов наклона и ускорений строятся на базе двухкоординатных инклинометров-акселерометров и специализированных контроллеров.

Основные технические характеристики датчиков инклинометров-акселерометров приведены в табл. 2.

Датчик имеет герметичный коррозионно-стойкий корпус и цифровой выход в стандарте RS-485.

Табл. 2. Основные характеристики датчиков углов наклона и ускорений

Параметр	Значение
Диапазон измерений углов наклона, °	± 1
Диапазон измерений ускорений, м/с^2	$\pm 0,2$
Диапазон рабочих температур, °С	от -40 до +50
Частотный диапазон измерения углов наклона при неравномерности АЧХ на уровне 3дБ, Гц	от 0 до 0,1
Частотный диапазон измерения ускорений при неравномерности АЧХ на уровне 3дБ, Гц	от 0,1 до 3
Разрешающая способность измерений углов наклона, °	0,0003
Разрешающая способность измерений ускорений, м/с^2	0,00006
Основная погрешность акселерометров, м/с^2	$\pm 0,0008$
Относительный коэффициент поперечного преобразования, %	± 1
Пределы допускаемой основной погрешности измерения инклинометров, °	$\pm 0,004$

Необходимость столь высоких точностных характеристик инклинометров-акселерометров объясняется малыми допустимыми угловыми отклонениями конструкций. Для обеспечения долговременной стабильности при из-

УДК 620.179.14

ОЦЕНКА ИЗМЕНЕНИЯ ТОПОГРАФИИ НАПРЯЖЕННОСТИ ПОЛЯ ОСТАТОЧНОЙ НАМАГНИЧЕННОСТИ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ РАСТЯГИВАЮЩИХ НАПРЯЖЕНИЙ

В. А. БУРАК

ГНУ «ИНСТИТУТ ПРИКЛАДНОЙ ФИЗИКИ НАН Беларуси»

Минск, Беларусь

Импульсный магнитный метод неразрушающего контроля широко применяется для контроля механических свойств листового проката сталей, в том числе для контроля в технологическом потоке производства [1]. Однако в процессе движения в металле возникают растягивающие напряжения, которые могут разрушать локальную намагниченность листа, и таким образом снижать достоверность измерений. Данная работа посвящена исследованию влияния растягивающих напряжений на изменение топографии напряженности поля остаточной намагниченности.

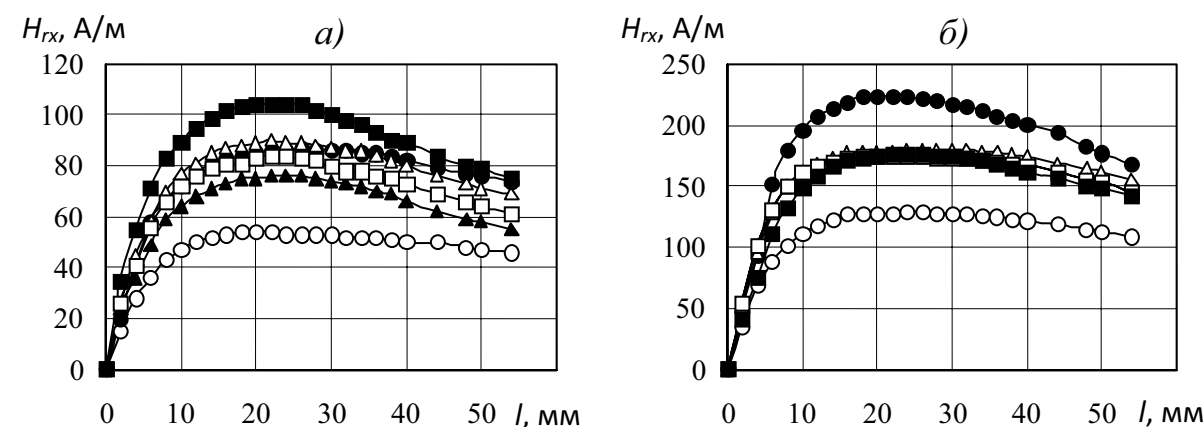
Исследования проводились на образцах из низкоуглеродистой холоднокатаной листовой стали 08кп размером 200 x 50 x 0,9 мм с различным исходным состоянием структуры и магнитной жесткостью. Локальное намагничивание испытуемого образца осуществлялось в его центре с помощью анализатора импульсного магнитного ИМА-6 [2] импульсами в форме апериодического разряда конденсатора длительностью 17 мс по уровню 0,01 и амплитудой $H_{\text{им}} = 2 \text{ кА/м}$ и 250 кА/м. Измерения нормальной H_n , тангенциальной $H_{\text{тх}}$ вдоль и тангенциальной $H_{\text{ты}}$ поперек направления растяжения составляющих напряженности поля остаточной намагниченности вдоль поверхности образцов производились преобразователем лабораторного трехкомпонентного магнитометра по осевой линии образца на расстояние $l = 54 \text{ мм}$ от центра намагниченного участка. Растягивающие напряжения в образце изменялись ступенчато в интервале от 0 до +43,6 МПа через 8,72 МПа. Для повышения достоверности измерений составляющих напряженности поля остаточной намагниченности перед намагничиванием, при каждом значении растягивающих напряжений σ , образец размагничивался. Намагничивание и измерение распределения составляющих напряженности поля остаточной намагниченности проводилось при фиксированной величине приложенных к испытуемому образцу нагрузок.

В ходе исследований было установлено, что величина тангенциальной составляющей $H_{\text{тх}}$ напряженности поля остаточной намагниченности определяется магнитными свойствами образца (для магнито жесткого образца она выше примерно в 2 раза) и величиной приложенных напряжений, причем зависимость $H_{\text{тх}}$ от величины приложенных напряжений неоднозначна. Характер распределения составляющей $H_{\text{тх}}$ вдоль образца, зависит в основном, от амплитуды $H_{\text{им}}$ намагничивающего импульса, магнитные свойства образца и

величина приложенных напряжений не оказывают на распределение H_{rx} заметного влияния. Так, при амплитуде намагничивающих импульсов $H_{им} = 20 \cdot 10^3$ А/м составляющая H_{rx} имеет максимум. Увеличение амплитуды намагничивающего импульса до $H_{им} = 250 \cdot 10^3$ А/м изменяет картину распределения составляющей H_{rx} напряженности поля остаточной намагниченности: пропадает максимум этой составляющей, для магнитомягкого образца наблюдается плавное увеличение составляющей H_{rx} , которое уменьшается с ростом величины приложенных напряжений. Для магнито жесткого образца стабилизация магнитного состояния начинается с расстояния 10 мм от центра намагниченного участка.

Аналогичный ход зависимостей наблюдается и для тангенциальной составляющей H_{ry} напряженности поля остаточной намагниченности поперек направления растяжения, однако, по величине составляющая H_{ry} значительно меньше составляющей H_{rx} .

Распределение нормальной составляющей H_m напряженности поля остаточной намагниченности вдоль образца носит близкий к линейному характер, причем для магнито жесткого образца зависимости, снятые при всех уровнях приложенных напряжений, отличных от нуля, сливаются.



σ , МПа: \circ – 0; \bullet – 8,7; Δ – 17,4; \blacktriangle – 26,1; \square – 34,8; \blacksquare – 43,5

Рис. 1. Распределение H_{rx} вдоль образца при разных напряжениях: а – магнитомягкий образец; б – магнито жесткий образец; $H_{им} = 20 \cdot 10^3$ А/м

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Матюк, В. Ф. Импульсный магнитный контроль прочностных характеристик ферромагнитных изделий / В. Ф. Матюк // Весці НАН Беларусі. Сер. фіз.-тэхн. навук. – 1998. – № 4. – С. 114–118.
2. Импульсный магнитный анализатор ИМА-6 / В. Ф. Матюк [и др.] // Дефектоскопия. – 2009. – № 7. – С. 62–74.

E-mail: veronika.burak@gmail.com

УДК 620.179.14.15.147

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

В. Л. ВЕНГРИНОВИЧ, В. Л. ЦУКЕРМАН, Ю. Б. ДЕНКЕВИЧ,
С. А. ГЕРЛОВСКИЙ, *А. Ф. ГУЛЕВ, **Д. М. МОРДИЧ, ***П. Ф. ПОДИЛО
ГНУ «ИНСТИТУТ ПРИКЛАДНОЙ ФИЗИКИ НАН Беларуси»

*ОДО «ПРОЕКТИНЖСТРОЙ»

**ООО «ПРОЕКТСТРОЙКОНСТРУКЦИЯ»

***ООО «ИТЕРАБЕЛСТРОЙ»

Минск, Беларусь

Системы мониторинга потенциально опасных сложных технических объектов и строительных конструкций (СМК) приобретают все большую роль в обеспечении безопасности последних. В Институте прикладной физики НАН Беларуси созданы аппаратно-программные комплексы и средства СМК, позволяющие в короткие сроки реализовывать системы непрерывного мониторинга для конкретных объектов.

СМК – это комплексный системный продукт, предназначенный для постоянного наблюдения по данным многосенсорных измерений за состоянием ответственных конструкций и сооружений в режиме реального времени. Она включает в себя:

- сенсорные устройства для получения непрерывной информации о важнейших параметрах конструкции и внешних воздействий;
- технологию установки, юстировки и поверки сенсоров;
- системы передачи данных от сенсоров к серверу, включая беспроводные линии связи;
- программное обеспечение для получения, передачи, хранения, документирования и оценки данных измерений сенсорами;
- автоматизированное рабочее место оператора;
- дружественный интерфейс оператора.

На основе этих средств разработаны системы мониторинга:

- на спортивном комплексе "Минск-Арена";
- высотном комплексе "Парус";
- учебно-тренировочном центре фристайла по ул. Сурганова в г. Минске.

В состав разработанных аппаратно-программных средств входят следующие измерительные каналы:

- канал измерения перемещений и деформаций (напряжений);
- канал измерения углов наклона;
- канал измерения ускорений;
- канал измерения ветровой нагрузки.

Упрощенная структура системы мониторинга представлена на рис. 1.

области сжатия и растяжения. Соответствующие значения компонент сигнала магнитного шума наносят на диаграмму в виде двух наборов изолиний этих величин (V_1 , V_2), каждую из которых получают при фиксированной величине второй компоненты сигнала магнитного шума.

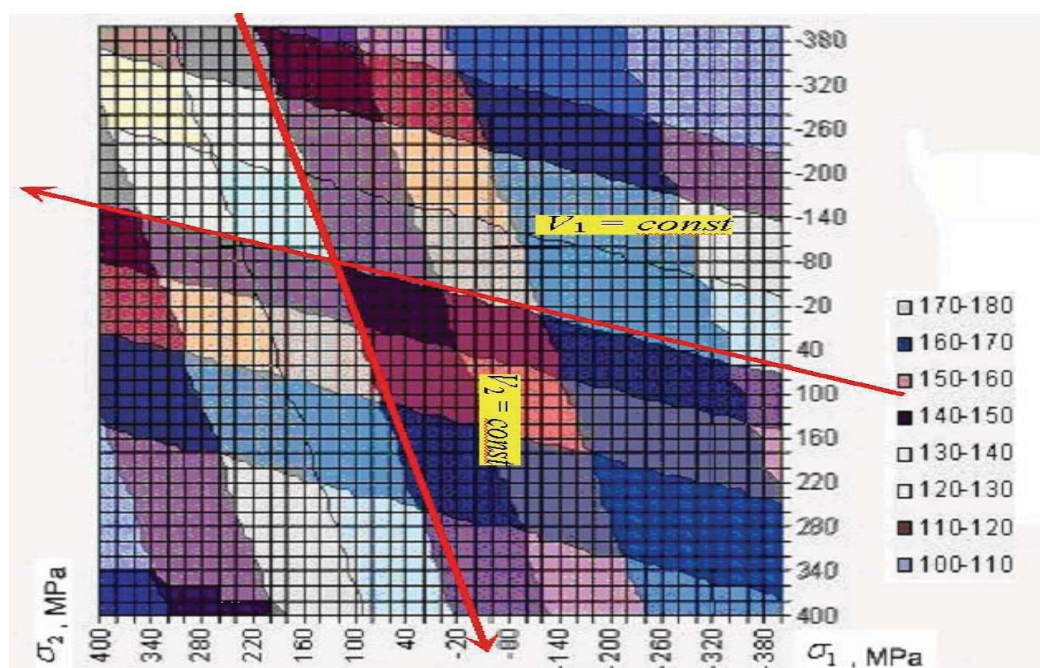


Рис. 2. Двухосная калибровочная характеристика зависимости параметров (V_1 , V_2) в главных направлениях в зависимости от напряжений (σ_1 , σ_2) в соответствующих направлениях в сплаве С390 (14Г2АФ) с использованием анализатора ИНТРОСКАН

Методика четырехпараметровых диаграмм адаптирована для контроля двухосных напряжений в магистральных трубопроводах. Она основана на учёте анизотропии распределения магнитошумовых характеристик и напряжений, и вместе с магнитошумовым анализатором «Интроскан» используется в ОАО «Гомельтранснефть Дружба».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ruud, C. O. A review of selected non-destructive methods for residual stress measurement / C. O. Ruud // NDT international, 1982 – Vol. 15. – №. 1 – P. 15–23.
2. Jiles, D. C. Effects of stress on the magnetic properties of steels // D. C. Jiles – Review of progress in quantitative nondestructive evaluation. Ed. D. O. Thompson, D. E. Chimenti. – Vol. 16A. – New York: Plenum Press. – 1997. – P. 1739–1746.

УДК 620.179

СТРУКТУРА, МЕХАНИЧЕСКИЕ И МАГНИТНЫЕ СВОЙСТВА ДВУХСЛОЙНОГО КОМПОЗИЦИОННОГО МАТЕРИАЛА ПРИ ПЛАСТИЧЕСКОЙ ДЕФОРМАЦИИ

Э. С. ГОРКУНОВ, А. М. ПОВОЛОЦКАЯ, Е. А. ТУЕВА, С. М. ЗАДВОРКИН
«ИНСТИТУТ МАШИНОВЕДЕНИЯ УрО РАН»
Екатеринбург, Россия

Широкое распространение многослойных композиционных материалов (КМ) во многих областях промышленности ставит задачу обеспечения контроля напряженно-деформированного состояния изделий из этих материалов. С целью разработки методики диагностики состояния изделий из композиционных материалов, в том числе состояния их компонент, на стадии изготовления и в процессе эксплуатации было проведено исследование изменений, происходящих в фазовом составе, механических и магнитных свойствах сталей Ст3 и 08Х18Н10Т и полученного сваркой взрывом двухслойного КМ «сталь 08Х18Н10Т – сталь Ст3», после накопительной холодной прокатки с различной степенью деформации.

Листовые заготовки из сталей Ст3 и 08Х18Н10Т, а также изготовленный из них композиционный материал были прокатаны с различной степенью деформации $\varepsilon_{пр}$. Для стали Ст3 $\varepsilon_{пр} = 0; 0,11; 0,20; 0,34; 0,49; 0,63$, для стали 08Х18Н10Т $\varepsilon_{пр} = 0; 0,19; 0,27; 0,36; 0,45; 0,57$. Величина $\varepsilon_{пр}$ для образцов из КМ: $\varepsilon_{пр} = 0; 0,14; 0,28; 0,40; 0,56; 0,62$. Длинная ось образцов совпадала с направлением прокатки.

На рис. 1 а, б приведены микроструктуры исследованного КМ. Граница раздела двух материалов представляет собой волнообразную поверхность. По мере увеличения степени деформации прокаткой происходит уменьшение волнообразности границы, что приводит к увеличению прочности материала в зоне соединения компонент. Об этом же свидетельствуют результаты измерения твердости обеих компонент КМ, представленные на рис. 1, в. Видно, что с увеличением степени деформации прокаткой твердость материала, являющаяся одним из показателей, характеризующих прочность, растет, причем твердость в районе шва выше, чем на внешних поверхностях образца.

Измерение магнитных характеристик проводили как в замкнутой магнитной цепи по схеме пермеметра, так и с использованием накладных преобразователей в полужамкнутой магнитной цепи.

У образцов из стали Ст3 с увеличением степени деформации прокаткой установлена монотонная зависимость таких магнитных характеристик, как коэрцитивная сила, максимальная магнитная проницаемость, число скачков Баркгаузена, а также тангенциальная составляющая вектора магнитной индукции поля рассеяния образцов. Чувствительность этих магнитных харак-

теристик позволяет использовать их в качестве информативных параметров при оценке изменений деформированного состояния при прокатке в изделиях из низкоуглеродистых сталей.

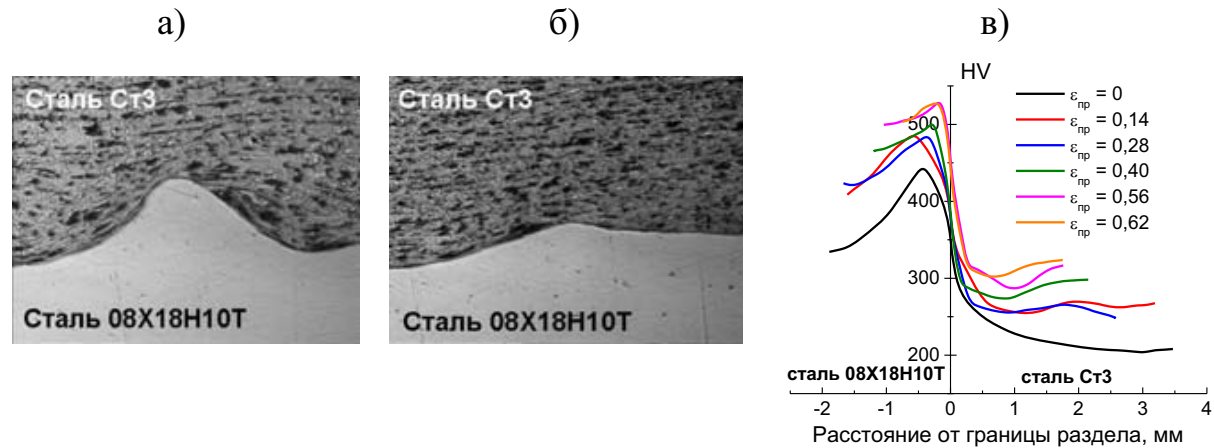


Рис. 1. Структура КМ «сталь 08X18N10Т – сталь Ст3», полученного сваркой взрывом и последующей холодной прокаткой со степенью деформации 0,28 (а) и 0,62 (б). Увеличение $\times 300$. Распределение твердости по сечению КМ при различных степенях деформации прокаткой (в)

Для оценки структурных изменений и деформированного состояния изделий из коррозионностойкой стали аустенитного класса 08X18N10Т после холодной прокатки могут быть использованы значения максимальной намагниченности, максимальной магнитной проницаемости, а также средне-квадратичные значения напряжения магнитных шумов Баркгаузена, монотонно изменяющиеся с ростом степени деформации.

Коэрцитивная сила композиционного материала «сталь 08X18N10Т – сталь Ст3» при увеличении $\epsilon_{пр}$ ведет себя однозначно, что дает возможность использовать ее для оценки степени деформации подобных композиционных материалов.

Показано, что результаты измерений магнитных характеристик композиционного материала с применением накладных магнитных устройств определенных геометрических размеров дают возможность получения информации о состоянии той компоненты слоистого материала, со стороны которой размещен преобразователь.

Полевые зависимости дифференциальной магнитной проницаемости $\mu_{диф}(H)$ композита и его компонент при различных степенях деформации прокаткой представлены на рис. 2. Для образцов из стали Ст3 и композиционного материала в недеформированном состоянии на $\mu_{диф}(H)$ (рис. 2, а) наблюдается по одному пику, соответствующему ферриту в стали Ст3. Магнитная проницаемость стали 08X18N10Т близка к 1. С увеличением степени деформации прокаткой (рис. 2, б) появляются изменения в зависимостях $\mu_{диф}(H)$ для всех трех исследованных материалов. Высота пика на полевой зависимости стали Ст3 уменьшается практически в 3 раза. На кривой $\mu_{диф}(H)$

и градусных стенок в сигнал магнитного шума, имея в виду, что смещение разных типов стенок по-разному характеризует соответственно напряжения и различные влияющие факторы; возможность определения как главных напряжений, так и компонент напряжений в любых направлениях в плоскости измерения; возможность послойного анализа свойств и напряжений в пределах глубины проникновения (до 1, 2 мм).

В то время как сами по себе упругие напряжения редко вызывают разрушения в пластичных конструкционных материалах, они объективно снижают предельные прочностные характеристики материала. В материалах с высокими напряжениями имеют место такие явления деградации материала, как усталость, деформационное старение, эволюция дислокационной структуры, стресс-коррозия и др. Деградация, в свою очередь, сопровождается повышением критической температуры хрупкого перехода, исчерпанием запаса пластичности, снижением трещиностойкости и др. В силу вышеуказанных причин, были проведены совместные экспериментальные исследования на участке трубопровода «Гомельтранснефть Дружба» и опытных образцах из марок стали, используемых на нём. Экспериментальные зависимости сигнала магнитного шума от величины статического давления в трубе и, соответственно, напряжения в основном металле приведены в качестве иллюстрации на рис. 1.

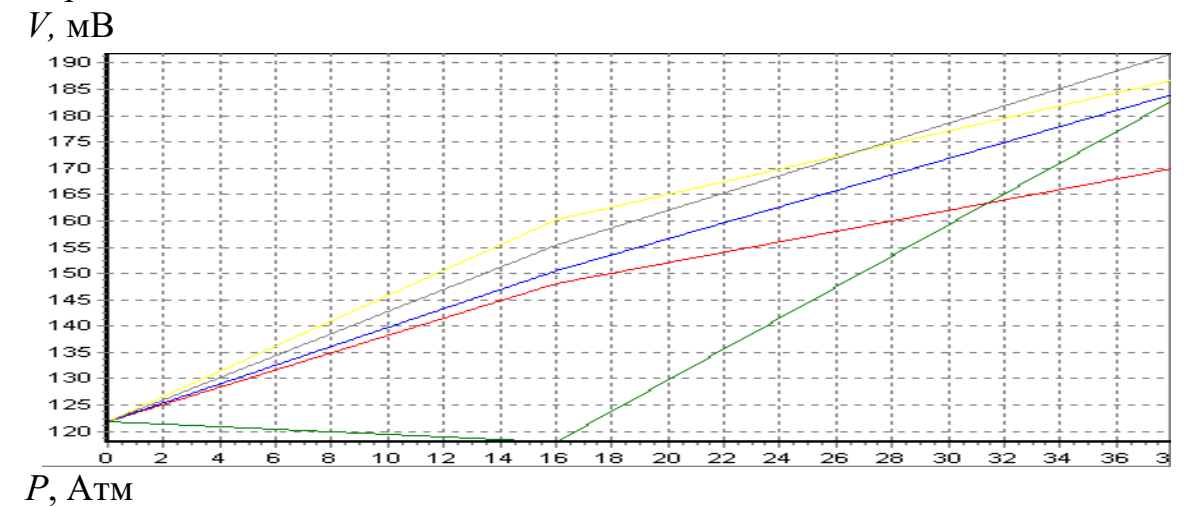


Рис. 1. Зависимость окружного значения параметра V магнитного шума от давления P в разных точках одного из сечений трубопровода

Можно отметить различный характер «прямой» зависимости сигнала магнитного шума от кольцевых напряжений даже в пределах одного сечения, т. к. разные его точки находятся в различном остаточном напряженном состоянии. Это возникает из-за неучета фактически двухосного состояния, имеющего место в трубе. Для оценки двухосных напряжений разработан метод четырехпараметровых калибровочных характеристик. Данная калибровка представляет собой конформное отображение множества сигналов магнитного шума (V_1, V_2) на множество значений главных напряжений (σ_1, σ_2) в

УДК 620.179.14.

ПОВЫШЕНИЕ ДОСТОВЕРНОСТИ НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ НАПРЯЖЁННОГО СОСТОЯНИЯ В ТРУБОПРОВОДАХ МЕТОДОМ МАГНИТНЫХ ШУМОВ

В. Л. ВЕНГРИНОВИЧ, Д. В. ДМИТРОВИЧ, *В. В. ВОРОБЬЁВ
ГНУ «ИНСТИТУТ ПРИКЛАДНОЙ ФИЗИКИ НАН Беларуси»

*ОАО «ГОМЕЛЬТРАНСНЕФТЬ ДРУЖБА»

Минск, Гомель, Беларусь

Основной тенденцией развития физики неразрушающего контроля, на современном этапе, является выявление и развитие новых закономерностей, устанавливающих взаимосвязи между характеристиками исследуемых материалов и параметрами физических полей, используемых для их изучения, их теоретическое обоснование и использование для развития и создания новых методов и средств неразрушающего контроля и диагностики состояния материалов и изделий. Ресурс многих важных деталей механических конструкций зависит от скорости образования дефектов, которая, в свою очередь, зависит от уровня остаточных и приложенных напряжений [1]. Напряжения создают фон, способствующий ускоренному протеканию процессов деградации материала. В такой ситуации очевидна необходимость измерения уровня механических напряжений и оценки возможности достижения предельного состояния, способствующего ускоренному снижению остаточного ресурса и долговечности и ведущего, в конечном итоге, к разрушению. Знание напряжённо-деформированного состояния (НДС) даёт возможность управления ресурсом изделий и конструкций. Поэтому ключевым этапом при оценке технического состояния оборудования, оценке остаточного ресурса и расчетах на прочность являются оценка напряженного состояния и основанных на нем критериев надёжности оборудования, соответствующих конкретным режимам и условиям эксплуатации.

Метод магнитного эффекта Баркгаузена при контроле напряженного состояния в трубопроводах использован в силу его важных преимуществ [2]: высокая чувствительность к внутренним напряжениям для большинства сталей; тесная связь параметров ШБ с изменением энергетического потенциального рельефа, определяемого дефектами кристаллической решетки, с микронеоднородностями и зародышеобразованиями; относительная простота регистрации и большое разнообразие преобразователей, позволяющее адаптировать их практически к любой форме поверхности; незначительный магнитоупругий гистерезис; высокое пространственное разрешение (до 1 мм^2); наличие нескольких независимых параметров магнитного шума, селективно характеризующих различные свойства поверхностных слоев; наличие магнитоакустического эффекта Баркгаузена, позволяющего разделить вклад доменных границ различных типов, например, выделить вклад не 180-

для образцов из стали 08X18H10T, прокатанной до $\varepsilon_{\text{пр}} = 0,36$, начинается рост пика, соответствующего формированию при прокатке мартенсита деформации. Пик локализуется в полях 20–25 А/см. Причем на полевой зависимости дифференциальной магнитной проницаемости КМ в этих же полях происходит формирование второго пика, что свидетельствует о протекании фазового превращения в КМ в слое из стали 08X18H10T.

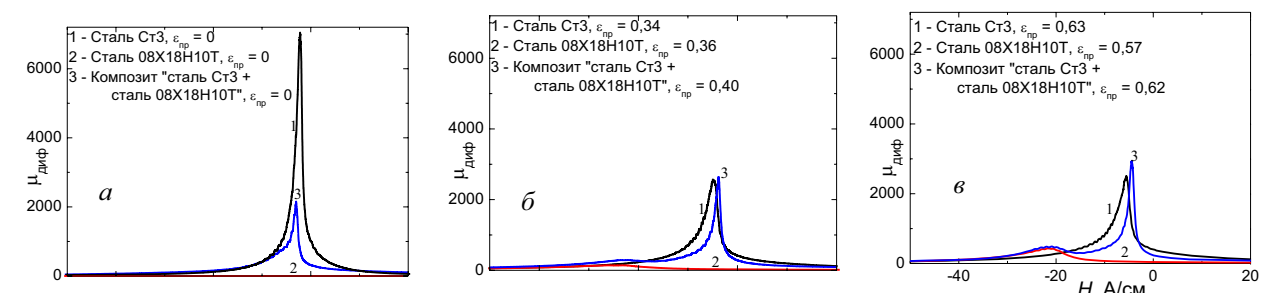


Рис. 2. Полевые зависимости дифференциальной магнитной проницаемости КМ «сталь 08X18H10T – сталь Ст3» и его отдельных компонент, построенные для различных степеней деформации прокаткой

На рис. 2, в представлены кривые $\mu_{\text{диф}}(H)$ для всех трех материалов, прокатанных на максимальные степени деформации. Как видно, на кривой $\mu_{\text{диф}}(H)$ для композита, прокатанного с $\varepsilon_{\text{пр}} = 0,62$, наблюдается два четких пика, соответствующие двум ферромагнитным фазам – ферриту в стали Ст3 и мартенситу в стали 08X18H10T. При увеличении $\varepsilon_{\text{пр}}$ высота пика, соответствующего стали 08X18H10T, увеличивается с ростом содержания α' -фазы. Таким образом, высота и положение пиков на полевой зависимости дифференциальной магнитной проницаемости композита, соответствующие двум ферромагнитным фазам – ферриту в стали Ст3 и мартенситу деформации в стали 08X18H10T, могут служить параметрами при оценке степени деформации прокаткой как КМ в целом, так и его отдельных компонент.

Работа выполнена при частичной поддержке РФФИ (грант 11-01-12126-офи-м-2011) и Программы Президиума РАН № 25.

УДК 620.179.14
ТЕРМОСТАБИЛЬНОСТЬ ИСТОЧНИКА ВЫСОКООДНОРОДНОГО
МАГНИТНОГО ПОЛЯ ДЛЯ ЭТАЛОНА МАГНИТНОЙ ИНДУКЦИИ

А. П. ГУСЕВ, В. Д. ПИУНОВ
ГНУ «ИНСТИТУТ ПРИКЛАДНОЙ ФИЗИКИ НАН Беларуси»
Минск, Беларусь

Ранее сообщалось о разработке источника для воспроизведения регулируемого высокооднородного магнитного поля в диапазоне магнитной индукции 0,1–50 мТл. При создании источника не все параметры поддаются точному расчету, например – тепловые характеристики, в связи с чем, данные параметры устанавливаются или уточняются экспериментально.

Основным потребителем мощности разработанного источника являются катушки Гельмгольца. Выделяемое ими тепло влияет на постоянную катушек за счет теплового расширения обмоток, а при высоких внутренних температурах может разрушаться изоляция обмоточных проводов. Данные обстоятельства для разработанного источника имеют более острое значение, чем обычно, по двум причинам. Первая – повышенные требования к стабильности системы в связи с ее назначением, вторая – расчет катушек Гельмгольца выполнен с учетом минимизации веса и потребления электроэнергии. В этих условиях требования к температурной стабильности катушек Гельмгольца накладывают ограничения на режим использования (длительность непрерывной работы) источника поля.

В работе представлены результаты экспериментальных исследований воздействия температуры обмоток катушек Гельмгольца на стабильность воспроизводимого ими магнитного поля. Методика исследования заключалась в том, что по обмоткам катушек пропускался постоянный ток и через определенные интервалы времени регистрировался ряд параметров: температура на внешнем слое обмотки (поверхностная температура $T_{\text{п}}$), сила стабилизированного тока I , падение напряжения U на обмотках и значения B магнитной индукции в центре системы катушек. Далее, по величинам напряжения U и тока I определялось активное сопротивление R обмоток и определялась их средняя температура $T_{\text{ср}}$ по формуле

$$T_{\text{ср}} = \frac{1}{\alpha} \left(\frac{R_T}{R_{20}} - 1 \right) + 20,$$

где R_{20} – сопротивление при температуре обмоток 20 °С; R_T – сопротивление при температуре T °С; $\alpha = 0,004$ 1/°С – температурный коэффициент сопротивления меди марки ММ.

Полученные результаты иллюстрируются графиками на рис. 1, 2.

от измерительных элементов), блоки СМД-ДТ-1 и СМД-ДТ-2П (датчики деформаций с диапазоном измерения от –2 до +2 мм) блок СМД-ДП-1 (датчик деформаций с диапазоном измерения от –20 до +20 мм), тензометры ТЗБ-200 с диапазоном измеряемого механического напряжения от –300 до +300 кПа, датчики угла наклона с диапазоном измерения от ±360 до ±7200 угловой секунды, модем и ноутбук.

Система работает в режиме опроса и передачи информации от блока СМД-УППИ в блок СМД-КМ с помощью стандарта передачи данных ZigBee IEEE Std 802.15.4 (частота передачи данных от 2400 до 2438,5 МГц), хранения информации в блоке СМД-КМ с последующей передачей информации в ПЭВМ (ноутбук) по стандарту RS-232, USB 2.0 или по GSM-каналу.

На данный момент развернута автоматизированная система измерения линейной деформации строительных конструкций с дистанционным сбором информации производства ОАО «Авангард» на объекте путепровод «Сельмашевский», в г. Гомель. Наблюдение за деформациями автором и представителями ОАО «Авангард» проводится уже более 10-ти месяцев. Информация за указанный период снимается регулярно и в полном объеме, без сбоев и отказов. Данные своевременно и в полном объеме направляются заказчику.

На основании первичных наблюдений можно сделать вывод о стабильном состоянии подконтрольного объекта на определенном для мониторинга участке путепровода. Однако, для полномасштабного анализа состояния объекта, необходимо увеличить количество и номенклатуру датчиков мониторинга деформаций, наклона и перемещений.

СМД ПИЖМ. 424358.004 показала свою надежность и может быть рекомендована для использования на различных мостовых сооружениях для измерения линейной деформации и определения состояния объектов. Ее применение позволит оперативно контролировать состояние мостовой конструкции, смещения и прогибы, возникающие в результате влияния внешних природно-климатических воздействий, а также интенсивной транспортной нагрузки. Важной функцией системы также является мгновенное оповещение сотрудников службы эксплуатации моста и службы быстрого реагирования (ГАИ, МЧС и др.) о потенциально опасной ситуации, в случае превышения допустимых размеров деформаций конструкции. Это увеличивает безопасность движения транспорта по и под мостовым сооружением и позволит избежать тяжелых последствий в случае чрезвычайной ситуации. Анализ потока данных системы мониторинга дает возможность увидеть тенденции к предельно-допустимым изменениям конструкции мостового сооружения, своевременно получить информацию и принять решение о необходимости изменения режима эксплуатации контролируемого объекта или его ремонта.

E-mail: nil_skof_vasilyev@belsut.gomel.by

стикой, обследованиями, испытаниями. При мониторинге выполняется экспериментальная оценка количественных параметров (измерение) и качественных признаков, характеризующих техническое состояние сооружения, к которым относятся геометрические параметры; напряженнодеформированное состояние; температура элементов сооружения; динамические характеристики; дефекты; нагрузки и воздействия, атмосферные и др. условия эксплуатации; жесткостные, прочностные и пр. свойства конструкций и материалов. Оцениваться могут как действующие значения параметров, так и их изменение в процессе мониторинга.

При контрольном мониторинге решается задача по предупреждению возникновения аварийных состояний конструктивных элементов и сооружения в целом, которые могут быть вызваны чрезвычайными обстоятельствами: природными явлениями – паводками, ураганами, землетрясениями и т.п.; деятельностью людей, а также вследствие опасного развития дефектов, имеющих в эксплуатируемой конструкции.

Контрольный мониторинг мостовых сооружений может и должен осуществляться при помощи автоматизированных систем мониторинга деформаций (АСДМ). АСДМ мостового сооружения представляет собой комплекс аппаратно-программных средств для измерений, интерпретации получаемых результатов, определения параметров объекта и инфраструктуры, обеспечивающей их работу, а также хранения результатов измерений и прогнозирования поведения объекта. Комплекс аппаратно-программных средств должен включать в себя спутниковое геодезическое оборудование, высокоточные измерители углов наклона, геотехнические датчики, электронные тахеометры, коммуникационную аппаратуру, компьютерное оборудование, а также программное обеспечение для управления средствами сбора, обработки данных, визуализации определяемых параметров, анализа результатов и формирования отчетов и сообщений. АСДМ должна включать набор датчиков, установленных в критических точках элементов конструкции мостового сооружения. В инфраструктуру, обеспечивающую работу комплекса аппаратно-программных средств, должны входить центр управления системой, оборудование, системы электропитания и коммуникаций.

Одной из систем, позволяющих проводить и успешно использовать контрольный мониторинг, является «Система мониторинга деформаций СМД ПИЖМ. 424358.004», разработанная в г. Санкт-Петербург. Она предназначена для дистанционного контроля и измерения деформаций строительных конструкций (несущих бетонных и стальных балок, стен), шахтных конструкций, несущих конструкций метрополитена, тоннелей и мостов; сбора информации в заданные интервалы времени и ее хранения в энергонезависимой памяти координатора или персонального компьютера с возможностью оперативного просмотра.

В состав системы входят следующие основные элементы: блок СМД-КМ (предназначен для сбора, передачи и отображения текущей информации

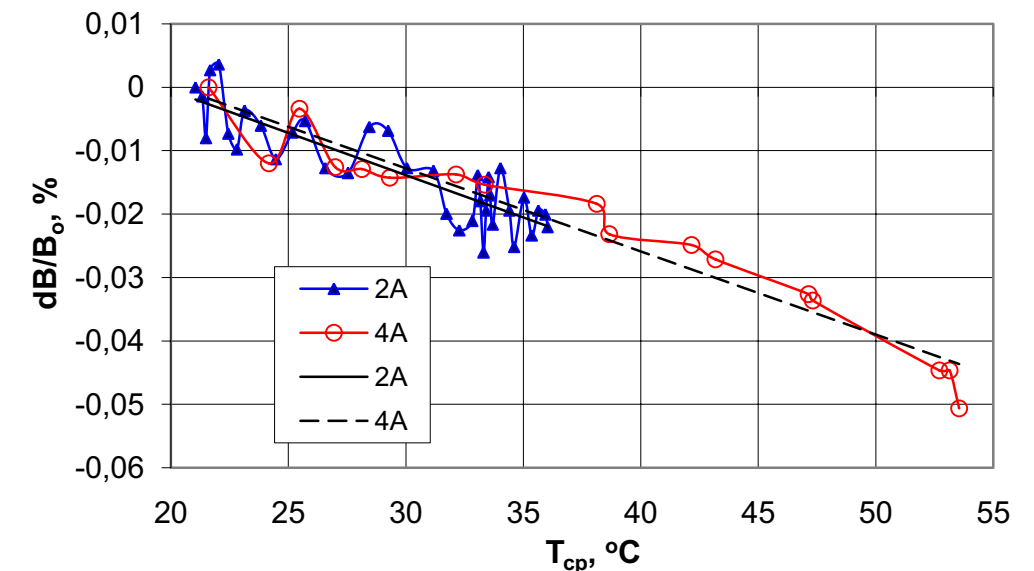


Рис. 1. Графики зависимости изменения магнитной индукции катушек Гельмгольца от средней температуры обмоток

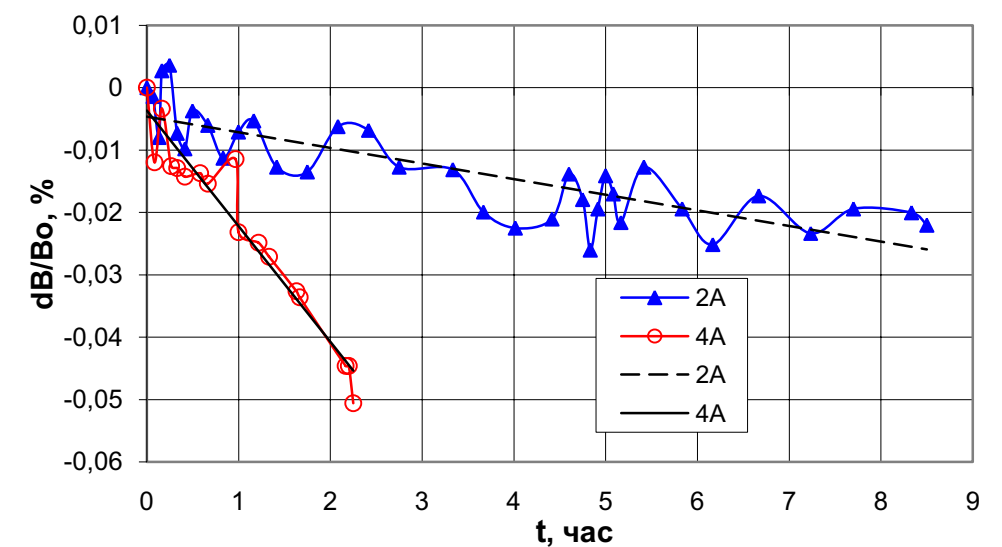


Рис. 2. Графики зависимости изменения магнитной индукции катушек Гельмгольца от времени пропускания тока 2А и 4А

Из графиков видно, что изменение магнитной индукции $\Delta B/B_0$ относительно первоначального значения, полученное при нагреве током 2 А в течение 8 часов не превышает 0,025 % и максимальным током 4 А в течение 2 часов – примерно 0,04 %. Полученные температурные зависимости магнитной индукции являются приемлемыми, с точки зрения класса точности эталона. Кроме того, при необходимости вносимые температурные погрешности могут быть уменьшены снижением времени измерений или внесением соответствующих $T_{ср}$ поправок в результаты измерений.

Email: gusevap@japh.bas-net.by
piunov@iaph.bas-net.by

УДК 621:53.08
МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНЫЙ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЙ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ
КОНТРОЛЯ ПАРАМЕТРОВ ЖИДКИХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СРЕД

О. К. ГУСЕВ, Р. И. ВОРОБЕЙ, А. К. ТЯВЛОВСКИЙ, К. Л. ТЯВЛОВСКИЙ,
А. И. СВИСТУН, А. Ф. ТКАЧЕНКО
«БЕЛОРУССКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
Минск, Беларусь

Использование традиционных кондуктометрических методов для контроля параметров жидких технологических сред может сопровождаться грубыми погрешностями измерений концентрации растворов, связанными с различием функциональных зависимостей удельной электрической проводимости от концентрации для различных типов электролитов [1]. В наиболее распространенных случаях технологического контроля объект измерений может находиться в трех метрологических состояниях [2] $X_{(j)}$: когда чувствительный элемент взаимодействует с электролитом первого ($j = 1$), второго ($j = 2$) типа и водой ($j = 3$). Измеряемой физической величиной является концентрация электролита $x_{(j)} = C_{(j)}$ в j -м состоянии объекта измерений.

В качестве входного измерительного сигнала первичного измерительного преобразователя $X_{(j)}$ используется импеданс $z_{(j)}$ между измерительными электродами кондуктометрической ячейки, погруженными в электролит, включая составляющую, обусловленную поляризационными процессами на границах раздела металл – электролит. При этом все составляющие функциональной зависимости импеданса от концентрации электролита существенно (от десятков до сотен процентов) изменяются при изменении типа электролита.

Суть проблемы заключается в том, что для обеспечения допустимой погрешности измерения концентрации различных электролитов требуется применение дополнительной измерительной процедуры определения типа раствора в месте установки датчика в режиме "реального времени". Идентификацию типа технологического раствора, находящегося в заданный момент времени в заданном сечении трубопровода, обычно обеспечивают управляющие сигналы для разделения потоков по необходимым конфигурациям в процессе автоматического управления технологическими процессами. Однако такое решение характеризуется неопределенной временной задержкой прохождения заданного типа электролита в месте установки датчика относительно моментов переключения клапанов и насосов, что не обеспечивает режима измерения в "реальном времени" и приводит к недопустимым погрешностям измерения на временных интервалах неопределенности типа электролита.

Для определения типа растворов может быть использован анализ динамических вольтамперных характеристик (потенциодинамических кривых),

УДК 624.2/.8
СИСТЕМА МОНИТОРИНГА ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ
МОСТОВЫХ СООРУЖЕНИЙ

А. А. ВАСИЛЬЕВ
УО «БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ТРАНСПОРТА»
Гомель, Беларусь

Развитие городской инфраструктуры невозможно без развития транспортной системы города. Исключение одного из элементов транспортной системы из работы, без предварительной подготовки ему замены, либо незапланированный выход из строя элемента в любом крупном городе приводит, к так называемому, «транспортному коллапсу».

Мостовые сооружения как элементы транспортной системы относятся к сооружениям первого уровня ответственности. Их безопасность должна быть обеспечена на протяжении всего срока службы и складывается из комплекса факторов, таких как долговечность конструкций, качественная техническая эксплуатация, своевременное проведение текущих и капитальных ремонтов. Постоянные воздействия внешних факторов приводят к постепенному износу сооружения, а, при сверхнормативных нагрузках, это может вызвать ускоренный износ, необратимые деформации и разрушение элементов конструкции. Для контроля и прогнозирования состояния мостового сооружения, с целью заблаговременного предупреждения о тенденциях изменений геометрических параметров сооружения, необходимо периодически проводить обследования конструкций сооружения с выполнением комплекса геодезических измерений его параметров, позволяющих установить фактические параметры повреждений фиксируемых визуально, оценить наличие скрытых повреждений, установить количественные параметры снижения эксплуатационных качеств и, тем самым, спрогнозировать динамику изменения долговечности конструкций, сроков проведения ремонтов и конечного срока службы сооружения. Однако, несмотря на необходимость обследования в силу, их периодичности и определенной выборочности элементов, не позволяют получать непрерывную информацию об изменении основных деформационных характеристик объекта и, тем самым, предотвращать не только значительное изменение технического состояния элементов, но и создание предаварийного состояния.

Одним из перспективных направлений повышения защиты мостовых сооружений от возможности создания аварийных ситуаций является обеспечение постоянного мониторинга технического состояния и внедрение перспективных методов оценки технического состояния объектов.

Мониторинг – вид работы в системе наблюдений за эксплуатируемыми мостовыми сооружениями, выполняемый организациями наряду с диагно-

шей. Значения конкретных уровней срабатывания защиты устанавливаются индивидуально для конкретного агрегата.

Работа комплекса состоит как из вычислительных, так и контрольно-сигнализирующих действий, заключающихся в выявлении информативно-значимых и аварийно-идентифицируемых ситуаций и выдаче на индикационные и сигнализирующие устройства соответствующих сообщений. При этом вибрационные сигналы, ставшие причиной этих ситуаций, записываются в специальные файлы для последующего углубленного анализа.

В результате функционирования системы непрерывного контроля накапливаются информации, подлежащие обработке на уровне анализа, прогнозирования и принятия решений. Программы этого уровня могут работать в автономном режиме, или в режиме реального времени, как одно из приложений многозадачной операционной системы, или как программа ЭВМ, подключенной по сети к системе измерений.

Комплексы «Лукомль» эксплуатируются более десяти лет на более чем двадцати объектах предприятий энергетики (Лукомльская ГРЭС, Минские ТЭЦ-3 и ТЭЦ-4, Новополоцкая ТЭЦ, Могилевская ТЭЦ-2 и др.). Пять комплексов работают в режиме автоматики защитного отключения. За это время получен ряд интересных данных, связанных с неисправностями, а также возникновением и развитием аварийных ситуаций.

Однако решение задач вибрационной диагностики до настоящего времени остается проблематичным, так как сделать вывод о техническом состоянии объекта, на основе количественных значений вибрационных параметров, во многих случаях достаточно неоднозначно. Для более достоверных заключений представляется целесообразным проведение анализа динамики изменения непрерывных вибрационных сигналов, отражающих техническое состояние объекта на достаточно длительном временном интервале (минуты, часы и даже сутки). С целью получения и исследования таких вибрационных сигналов разработан 16-канальный мобильный измерительно-вычислительный комплекс «Тембр».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бранцевич, П. Ю. ИВК «Лукомль-2001» для вибрационного контроля / П. Ю. Бранцевич // Энергетика и ТЭК. – 2008. – № 12(69). – С. 19–21.

E-mail: branc@bsuir.edu.by

реализуемых при подаче на электроды ячейки линейно возрастающего напряжения [3]. Для определения типа раствора используется измерение мгновенного значения тока динамической поляризации при характеристическом напряжении U_x . Характеристики двойного электрического слоя зависят от предыстории ("биографии") электродов датчика, которые определяют состояния их поверхности. Для исключения влияния предыстории измерений в измерительном преобразователе использовано опорное запоминание кривой поляризации воды. Существующие приборы требуют установки близко расположенных датчиков концентрации и типа раствора со своими измерительными преобразователями (ИП) и взаимным управлением режимами ИП для обеспечения запоминания параметров динамической поляризации для воды. Сигнал для момента запоминания формирует ИП концентрации, режим которого изменяется под действием выходного сигнала ИП типа электролита.

Использовавшиеся ранее приборы [1, 3] и ИП для отдельного определения типа раствора и измерения концентрации построены на основе использования интегральных схем с "жесткой логикой". Но применение микроконтроллеров при построении ИП позволяет объединить несколько функций в одной конструкции ИП при условии "перекрытия" свойств чувствительных элементов датчиков. При исследовании свойств кондуктометрических чувствительных элементов датчиков типа раствора и концентрации обнаружено, что геометрическая постоянная кондуктометрической ячейки типа раствора позволяет использовать эту ячейку и в ИП концентрации раствора. Таким образом, создание многофункционального измерительного преобразователя сводится к задаче изменения режимов возбуждения электродов кондуктометрической ячейки и переключению режимов работы входного усилителя в зависимости от метрологического состояния ИП. По сравнению с базовыми способами многопараметрических измерений, где для реализации каждого физического принципа измерения использовался свой чувствительный элемент, в данном случае предлагается один кондуктометрический чувствительный элемент. Измерительный преобразователь концентрации с автоматическим переключением функциональной зависимости импеданса от концентрации электролита для определенного типа электролита реализован на микроконтроллере типа AVR со встроенным модулем АЦП. Генерация напряжения динамической поляризации электродов в начальном режиме определения типа раствора выполняется в контроллере методом DDS при скорости развертки до 0,005 В/с. Работа анализатора типа раствора координируется выходным сигналом информационного канала измерения концентрации в предыдущем цикле измерения. После определения типа раствора на малой концентрации, при изменении типа электролита от состояния "вода" к типу j , происходит переключение реализованного в контроллере генератора DDS из режима формирования пилообразного напряжения со скоростью около 0,004 В/с в режим формирования синусоидального напряжения с частотой порядка 8 кГц. Фактически, при переключении режима возбуждения и одно-

временного переключения входного преобразователя из режима $U-U$ в режим $i-U$, производится переключение измерительного преобразователя из потенциометрического в кондуктометрический режим, соответственно. При концентрации раствора в технологическом трубопроводе ниже 0,04 % (регулируется до 0,005 %) производится запоминание уровня поляризации "воды". Процесс определения типа раствора не превышает 0,5 с. Для большей надежности повторное определение типа раствора может производиться на протяжении нескольких циклов. Затем работа анализатора типа раствора блокируется до следующего падения концентрации ниже 0,04 % с тем, чтобы исключить влияние на результаты анализа процессов специфической адсорбции поверхностно-активных ионов из раствора, а ИП переходит в режим измерения концентрации с подключением функциональной зависимости проводимости от концентрации для определённого типа электролита.

Таким образом, использование принципа многопараметрических измерений при использовании односигнального информационного канала позволяет реализовать интеграцию нескольких чувствительных элементов, и за счет расширения функциональности измерительного преобразователя уменьшить число измерительных каналов информационно-измерительных систем в производственных процессах с использованием жидких технологических сред.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Гусев, О. К.** Моделирование методов и средств многопараметрических измерений на основе одноэлементных первичных преобразователей / О. К. Гусев [и др.] // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. – 2009. – № 7. – С. 33–37.
2. **Гусев, О. К.** Идентификация растворов в технологических трубопроводах на основе явления динамической поляризации / О. К. Гусев // Измерительная техника. – 2004. – № 7. – С. 60–62.
3. **Воробей, Р. И.** Определение типа и концентрации растворов электролитов на основе анализа потенциодинамических кривых / Р. И. Воробей [и др.] // Вестник БНТУ. – 2003. – № 2. – С. 39–45.

E-mail: nilpt@tut.by
konst@msx.ru

ния технического состояния и дать исходные данные для прогнозных оценок, но не дает возможности оперативно отреагировать на внезапные аварийно-опасные ситуации путем отключения оборудования или изменения режимов его работы.

Системы непрерывного стационарного мониторинга внедряют на сложных дорогостоящих агрегатах (турбогенераторах, газоперекачивающих агрегатах и т.п.). Это многоканальная, в большинстве случаев компьютерная система, определяющая и регистрирующая на каком-то носителе информации значения параметров вибрации через небольшие (не более нескольких секунд) промежутки времени, а также осуществляющая допусковый контроль, выполняющая функции сигнализации и даже защитного отключения. Примером такой системы является измерительно-вычислительный комплекс (ИВК) серии «Лукомль», разработанный и производимый научно-исследовательской лабораторией вибродиагностических систем БГУИР [1].

Структурно ИВК представляет собой универсальную ПЭВМ с типизированным модулем АЦП со стандартным машинным интерфейсом (ISA, PCI, USB), блоком аналоговой обработки сигналов, которые формируются первичными виброизмерительными каналами, и блоком управления сигнализацией и защитным отключением, подключаемым к СОМ-порту. При таком построении основная функциональность комплекса обеспечивается алгоритмическим и программным обеспечением, что позволяет оперативно его адаптировать под решение новых задач.

По сути, это перепрограммируемый компьютерный измерительный прибор, решающий специальные задачи. Его основными функциями являются:

- определение в режиме реального времени интенсивности вибрации в стандартизованных или задаваемых пользователем частотных диапазонах, частоты вращения вала, значений амплитудных и фазовых параметров, по крайней мере, до десяти спектральных составляющих вибрации, кратных частоте вращения (порядковый анализ), пик-фактора исходного сигнала;
- сравнение реально полученных значений с контрольными (величина которых может изменяться от точки к точке и с течением времени) и выработка по определенным алгоритмам сигналов сигнализации, выдаваемых на отображающие и исполнительные устройства;
- реализация алгоритмов защиты технических объектов по вибрационным параметрам не только по стандартизованным критериям, но и с учетом расширенного числа показателей, индивидуальных особенностей конкретного объекта и обобщенной оценки ситуации на объекте, полученной на основе измерений в нескольких точках контроля.

При анализе вибрационного состояния защищаемого объекта учитываются факторы низкочастотной вибрации, высокочастотной вибрации, оборотной составляющей вибрации, изменение вектора оборотной составляющей

УДК 629.12:004.9

МОНИТОРИНГ ВИБРАЦИОННОГО СОСТОЯНИЯ
СЛОЖНЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ

П. Ю. БРАНЦЕВИЧ, С. Ф. КОСТЮК
УО «БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИНФОРМАТИКИ И РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ»
Минск, Беларусь

Внедрение компьютерной техники на предприятиях промышленности и энергетики предполагает возможность автоматизации решения ряда задач, связанных с принятием решений по оценке технического состояния производственных объектов, прогнозированию его изменения, диагностике, планированию сроков и объемов ремонтных работ.

Состояние производственного оборудования может характеризоваться многими параметрами основных и вторичных процессов, развивающихся при его работе. Для контроля целесообразно выбирать те параметры процессов, которые достаточно хорошо отражают функциональное состояние объектов и не требуют слишком больших затрат на их измерение. В этом плане, для механизмов с вращательным движением, такими являются параметры вибрации.

В зависимости от важности выполняемых оборудованием функций, его стоимости и величины возможного ущерба при внезапной аварии, реализуют периодический или непрерывный стационарный мониторинг параметров вибрации.

При периодическом мониторинге через некоторые промежутки времени (раз в неделю или месяц) с помощью переносных приборов измеряются параметры вибрации подшипниковых опор, а полученные результаты заносятся в специальный журнал или базу данных. Важно, чтобы измерения проводились в сопоставимых условиях при одинаковых или близких режимах работы контролируемого оборудования и частоте вращения ротора. В качестве параметров вибрации чаще всего фиксируют среднее квадратическое значение (СКЗ) в нормированной частотной полосе (для механизмов с частотой вращения ротора более 600 оборотов в минуту это 10–1000 Гц), а также, при наличии возможности, определяются амплитуда оборотной составляющей вибрации (составляющая с частотой, равной частоте вращения ротора), интенсивность низкочастотной вибрации, амплитудный спектр. В результате обработки полученных данных отслеживается выход параметров за нормированные допусковые зоны, строятся тренды изменения параметров вибрации для отдельных механизмов. Далее принимаются решения о проведении расширенных обследований вибрационного состояния подозрительных механизмов, планируются мероприятия по техническому обслуживанию и ремонту. Периодический мониторинг позволяет отследить динамику измене-

УДК 620.179.14

ОПРЕДЕЛЕНИЕ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ МЕТАЛЛА
ПО ПАРАМЕТРАМ ТВЕРДОСТИ В ЗОНАХ КОНЦЕНТРАЦИИ
НАПРЯЖЕНИЙ, ВЫЯВЛЕННЫХ В ИЗДЕЛИЯХ МАШИНОСТРОЕНИЯ
МЕТОДОМ МАГНИТНОЙ ПАМЯТИ МЕТАЛЛА

А. А. ДУБОВ, *Ал. А. ДУБОВ, *А. Н. ДЕМИДОВ
ООО «ЭНЕРГОДИАГНОСТИКА»
*НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ «МЭИ»
Реутов, Москва, Россия

Известно, что основными источниками повреждений оборудования и конструкций являются локальные зоны концентрации напряжений (ЗКН), обусловленные металлургическими и технологическими дефектами изготовления, рабочими нагрузками или их сочетанием. Наличие ЗКН как на новых изделиях, так и на изделиях, бывших в эксплуатации, значительно снижает их ресурс. Поэтому контроль напряженно-деформированного состояния (НДС) изделий и определение ЗКН с использованием средств неразрушающего контроля представляется в ГОСТ Р 52330-2005 наиболее важной задачей при контроле НДС. Именно для решения этой задачи – выявление ЗКН на основе 100 % обследования оборудования и конструкций, предлагается использовать метод магнитной памяти металла (МПМ), который получает все большее распространение на практике.

После того, как выявлены ЗКН, при оценке ресурса требуется определить механические свойства металла в этих зонах. Однако определение механических свойств металла в ЗКН, имеющих малую протяженность (от десятка до нескольких сотен мкм), весьма проблематично.

Из существующих методов контроля механических свойств для этих целей наиболее перспективен метод индентирования. Этот метод, известный под названием "безобразцовый метод", позволяет определять не только характеристики твердости, но и показатели других механических свойств металла, например, предел текучести ($\sigma_{0,2}$), временное сопротивление (σ_B), равномерную деформацию (δ_p) и др. [1, 2]. В основе безобразцового метода лежат корреляционные связи характеристик твердости с характеристиками прочности, но эти связи установлены для макроуровня, на котором деформируемые объемы металла при вдавливании индентора и растяжении образца сравнительно велики. При уменьшении деформируемых объемов металла начинает проявляться масштабный фактор, следствием которого является повышение определяемых значений твердости и прочности. Для ЗКН, имеющих малую протяженность, возможно применение только метода микротвердости, определяемой вдавливанием пирамиды. Однако значения микротвердости могут превосходить значения макротвердости в 1,5–2 раза из-за влияния масштабного фактора.

Такое же увеличение твердости происходит и при вдавливании сферического индентора. Чем меньше диаметр индентора, тем выше твердость по Бринеллю, но при условии постоянства отношения диаметра отпечатка к диаметру индентора.

Аналогичное влияние оказывает масштабный фактор на характеристики прочности, определяемые растяжением образцов. Известно значительное увеличение прочности разрывных образцов диаметром менее 1 мм.

В связи с вышеизложенным, возникает вопрос о характере связи твердости и прочности на микро- и макроуровне и возможности их взаимного пересчета.

Для ответа на эти вопросы в лаборатории кафедры "Технология металлов" МЭИ были проведены специальные эксперименты на образцах одной марки стали при растяжении и вдавливании. В результате выполненных экспериментов, были выявлены следующие два условия подобия. Первое условие обеспечивает одинаковые масштабные уровни при растяжении и вдавливании за счет равенства абсолютного изменения площади поперечного сечения образца ΔF и площади поверхности отпечатка M ($\Delta F=M$). А второе условие обеспечивает при этом равенство относительных деформаций при растяжении образца Ψ^{pac} и вдавливании индентора $\Psi^{вд}$ ($\Psi^{pac}=\Psi^{вд}$). Для выполнения этих условий целесообразно использование сферического индентора, который позволяет получать различные значения пластической деформации за счет изменения угла вдавливания в процессе одного нагружения.

Для количественной оценки средней пластической деформации при вдавливании сферического индентора $\Psi^{вд}$ предложена следующая формула [2]:

$$\Psi^{вд}=1-[1-(d/D)^2]^{1/2}=0,5t/D=t/R, \quad (1)$$

где d – диаметр отпечатка; t – глубина отпечатка; D – диаметр индентора; R – радиус скругления индентора.

Предложенные условия подобия и формула (1) позволили подобрать необходимый исходный диаметр образца для растяжения d_0 по используемому диаметру индентора D .

В качестве материала для исследований был взят пруток диаметром 20 мм из стали 35. От прутка были отрезаны шайбы для испытаний на вдавливание и заготовки для изготовления разрывных образцов. Для проведения механических испытаний были изготовлены сферические инденторы с диаметрами $D=0,1-10$ мм и цилиндрические пятикратные разрывные образцы с исходными диаметрами $d_0=0,6-10$ мм.

Испытания образцов на растяжение выполнялись на универсальной машине "Instron", позволяющей изменять шкалы нагрузок в зависимости от d_0 . При растяжении образцов различного диаметра были определены предел текучести $\sigma_{0,2}$, временное сопротивление σ_b , абсолютные изменения площади

единичного базового показателя; p_i^d – допускаемое значение i -го единичного показателя, определяемое по нормативно-технической документации.

Базовой характеристике состояния окружающей среды соответствуют единичные показатели, регламентированные нормативно-технической документацией. Если измеренное значение единичного показателя равно базовому, то этот показатель не включается в комплексный показатель. По найденным значениям относительных показателей определяется комплексный показатель экологической оценки, который изменяется в пределах $0 \geq K_{\Sigma} \leq 1$ по формуле:

$$K_{\Sigma} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n q_i k_i \quad (2)$$

где k_i – коэффициент весомости единичного показателя (определяется методом экспертных оценок); если измерения производятся в одном и том же помещении через определенные промежутки времени, то эти коэффициенты будут постоянными для единичного показателя в данных условиях; n – количество единичных показателей в экологической оценке.

Значение, полученное по формуле (2), характеризует экологическое состояние в зоне измерения, то есть на рабочем месте.

E-mail: blagydar@list.ru

В зависимости от специфики производства могут присутствовать и другие вещества в рабочей зоне, которые также надо учитывать при оценке экологической безопасности.

Содержание вредных веществ (окись углерода, токсичные вещества) и пыли в воздухе рабочей зоны оборудования определяют в соответствии с ГОСТ 12.2.002-91.

Факторами метеорологических условий производственной среды являются: температура воздуха, его относительная влажность, скорость перемещения воздуха и наличие теплоизлучений, которые регламентируются с учетом тяжести физического труда: легкая, средняя и тяжелая работа. Помимо этого, учитывается сезон года: холодный период года характеризуется среднесуточной температурой наружного воздуха ниже + 10 °С и теплый период с температурой + 10 °С и выше.

Для контроля метеоусловий и общего экологического состояния в рабочей зоне используются приборы: газоанализаторы для измерения загазованности и наличия вредных веществ в воздухе; термометры, термограф и парный термометр; актинометр при замерах напряженности излучений; психрометр или гидрограф при измерении относительной влажности; анемометр или кататермометр для замеров скорости движения воздуха; виброметры для измерения вибраций; шумомеры для измерения шума и другие приборы для измерения остальных единичных показателей, влияющих на экологическую обстановку.

Измерения следует проводить в период рабочего времени при соблюдении следующих условий: вид работы – характерный для данного вида оборудования; режим работы; относительная влажность воздуха, %.

Запыленность измеряют пылемером в зоне дыхания рабочего. Определяемое, в результате испытаний, фактическое значение показателя само по себе есть только информация для получения качества окружающей среды, но еще не сама оценка. Для получения экологической оценки необходимо установить по определенному правилу соотношение между фактическим значением показателя и базовым (требуемым) его значением, то есть рассчитать относительную характеристику показателя или его уровень (степень близости к требуемому значению), который и будет характеризовать уровень экологического состояния окружающей среды. Относительные показатели по единичным показателям экологической оценки по отношению к аналогичным единичным показателям определяют по формуле

$$q_i = 1 - \left| \frac{p_i - p_i^b}{p_i^d - p_i^b} \right|, \quad (1)$$

где q_i – относительный показатель по i -му единичному показателю; p_i – величина i -го единичного показателя в измеряемой зоне; p_i^b – величина i -го

поперечного сечения образцов на уровне предела текучести $\Delta F_{0,2}$ и на уровне временного сопротивления ΔF_B .

Испытания вдавливанием инденторов различного диаметра выполнялись на модернизированном приборе МЭИ-Т7, снабженным встроенным микроскопом для измерения диаметров отпечатков и сменными силовыми пружинами для обеспечения требуемой точности измерения нагрузки.

На рис.1 представлены экспериментальные зависимости $\sigma_{0,2}$, σ_B от d_0 и $HB_{0,2}$, HB_B от D , полученные по результатам испытаний растяжением образцов диаметром 0,6÷10 мм и проволочных стальных образцов диаметром 150÷350 мкм, предварительно отожженных для снятия наклепа, а также вдавливанием инденторов различных диаметров (0,1÷10 мм).

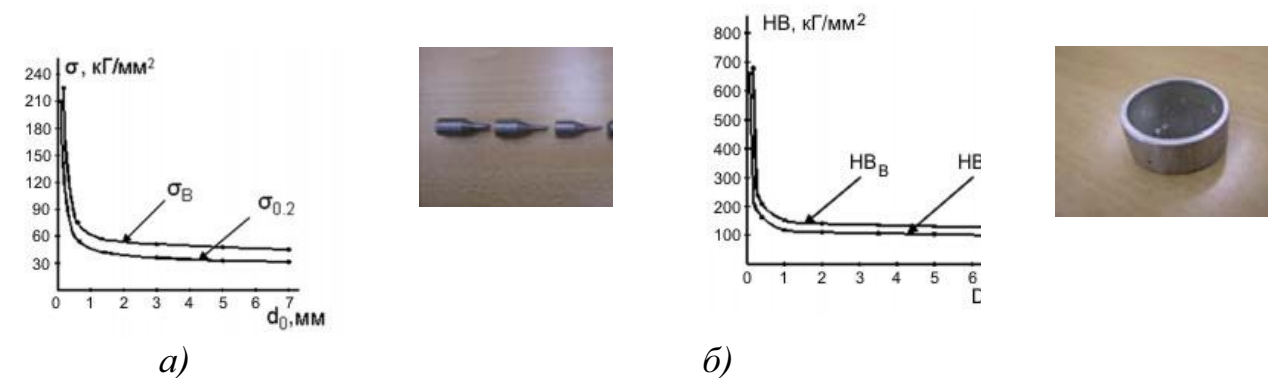


Рис.1. Изменения $\sigma_{0,2}$, σ_B в зависимости от d_0 (а), и изменения $HB_{0,2}$, HB_B в зависимости от D (б)

Из рис. 1 видна явная аналогия в изменениях характеристик прочности и твердости, что свидетельствует об общих закономерностях влияния масштабного фактора при переходе от макро- к микроуровню деформирования металла. Причем, для проволочных образцов (микроуровень) значения отношений $\sigma_{0,2}/HB_{0,2}$ и σ_B/HB_B также как для макрообразцов, оказались примерно равным 1/3.

На участке зависимостей $HB_{0,2}=f(D)$ и $HB_B=f(D)$ при $D < 1$ мм наблюдается значительное увеличение характеристик твердости. Аналогичное увеличение характеристик прочности наблюдается и на зависимостях $\sigma_{0,2}=f(d_0)$ и $\sigma_B=f(d_0)$ при $d_0 < 1$ мм. Анализ экспериментальных данных показал, что эти участки можно аппроксимировать экспоненциальными зависимостями. Аналогичные зависимости были получены для микро- и макрообразцов, изготовленных из стали 20.

На основе выполненных исследований, разработана методика определения механических свойств металла в ЗКН, выявленных методом МПМ. Путем индентирования на мезо- микроуровнях с последующим пересчетом значений механических свойств ($\sigma_{0,2}$, σ_B) на макроуровень изделия.

Известно, что отношение $\sigma_{0,2}/\sigma_B$ является диагностическим параметром структурно-механического состояния металла ЗКН по методу МПМ. Если

это отношение находится в пределах 0,5–0,8, то металл еще не склонен к хрупкому разрушению, и вероятность зарождения трещин низка. Однако при увеличении этого отношения и приближении его к единице металл исчерпывает запас упрочняемости, его равномерная деформация очень мала, и вследствие этого, контролируемая ЗКН представляет опасность, так как в ней могут образоваться трещины. В этом случае информацию о состоянии металла в ЗКН следует дополнить металлографическим анализом с помощью метода пластических реплик.

Следует также отметить, что значения $\sigma_{0,2}$ и σ_b , полученные по результатам измерений микротвердости в ЗКН зависят от уровня остаточных напряжений (ОН) в этой зоне. Чем выше уровень ОН, тем больше значения твердости и других механических характеристик мы получим в результате указанных измерений. При этом оценку уровня ОН в ЗКН возможно выполнить методом МПМ, используя энергетическое соотношение между магнитными и механическими характеристиками, представленное в работе [3].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Марковец М. П.** Определение механических свойств металлов по твердости / М. П. Марковец. – М. : Машиностроение, 1979.–191 с.
2. **Матюнин, В. М.** Оперативная диагностика механических свойств конструкционных материалов / В. М. Матюнин. – М. : Издательский дом МЭИ, 2006 – 214 с.
3. **Дубов, А. А.** Метод магнитной памяти металла и приборы контроля : учеб. пособие / А. А. Дубов, А. А. Дубов, С. М. Колокольников. – М. : ЗАО «Тиссо», 2008 – 363 с.

УДК 621.9.06(72)

ОЦЕНКА И КОНТРОЛЬ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

В. М. БЛАГОДАРНЫЙ

УО «БАРАНОВИЧСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Барановичи, Беларусь

Объекты промышленного производства оказывают негативное химическое, биологическое, физическое и механическое воздействие на все основные компоненты окружающей среды: атмосферный воздух, почву, воду, а также на человека, работающего в этих условиях.

Станочное оборудование в цехах, а также транспортные устройства являются источниками поступления в атмосферу различных типов газов, таких, например, как диоксид углерода (CO_2), метан (CH_4), закись азота (N_2O), перфторуглероды (ПФУ), гидрофторуглероды (ГФУ), гексафторид серы (SF_6), прекурсоров озона или газов с косвенным парниковым эффектом (оксид углерода (CO), оксиды азота (NO_x), летучие неметановые органические соединения (ЛНОС), прекурсоров аэрозолей (диоксид серы (SO_4) и других веществ, образующих тепловой эффект. Опасность для атмосферы воздуха представляют не только продукты, выделяемые при работе оборудования, но и хранящиеся в необорудованных помещениях и складах горюче-смазочные материалы

Ощутимое влияние на природную среду также оказывают отходы производства и потребления. Они требуют не только значительных площадей для складирования и хранения, но и загрязняют вредными веществами, пылью, газообразными выделениями атмосферу, землю, водотоки и подземные воды.

Экологическая оценка безопасности проекта строится на основе системного анализа его функционирования. Помимо существующих видов оценки (эксплуатационно-технологических, экономических, надежности и т. п.) необходимо проведение экологической оценки безопасности проекта.

При оценке экологической безопасности проекта учитывают выброс в атмосферу оборудованием канцерогенных и токсичных веществ, степень загазованности на рабочем месте, загрязнение воздушного и водного бассейна и почвы.

Таким образом, экологическая оценка безопасности проекта складывается из следующих единичных показателей: окись углерода, $\text{мг}\cdot\text{м}^{-3}$; токсичные вещества, $\text{мг}\cdot\text{м}^{-3}$; запыленность, $\text{мг}\cdot\text{м}^{-3}$; влажность помещения, %; теплоизлучение, $^\circ\text{C}\cdot\text{м}^{-3}$; шум, дВ; вибрации, дВ; ультразвук, электромагнитное и радиоактивное излучения.

$$R_{СПК} = \frac{\rho_{ПС}}{2 \cdot n_{П} \cdot r_{П}^2} \quad (3)$$

Сопротивление стягивания $R_{СТ}$, обусловленное искажениями линий тока в сечениях контактирующих тел, определяется размерами и числом пятен контакта. При контакте двух тел с одинаковым удельным сопротивлением ρ для группы круглых пятен одинакового радиуса $r_{П}$ равномерно распределенных по поверхности контакта радиусом r_k сопротивление стягивания согласно [5] определяется:

$$R_{СТ} = \frac{\rho}{2} \cdot \left(\frac{1}{n_{П} \cdot r_{П}} + \frac{32}{3 \cdot \pi^2 \cdot n_{К} \cdot r_{К}} + \frac{32}{3 \cdot \pi^2 \cdot r_{С}} \right), \quad (4)$$

где $n_{П}$ – число пятен контакта в контактной зоне, $n_{К}$ – число групп пятен металлического контакта (кластеров), $r_{С}$ – радиус контура, охватывающего совокупность кластеров. Применяемые при заливке вкладышей баббиты и стали шейки валов имеют удельные сопротивления порядка 10^{-7} Ом·м, поэтому влиянием $R_{СТ}$, в данном случае, можно пренебречь.

Таким образом, в описываемом методе предполагается, что при разделении поверхностей даже граничным слоем смазочного материала, сопротивление промежутка гораздо выше, чем при установлении контакта между шейкой вала и вкладышем. На основе анализа резких падений сопротивления в промежутке, можно судить о наличии предаварийной или аварийной ситуации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Бирюков, Е. Н.** Метод и алгоритмы обработки электрорезистивных сигналов в системе диагностирования опорных узлов скольжения агрегатов металлургического производства: Дис... канд. техн. наук / Бирюков Е. Н. – Череповец, 2008. – 169 с.
2. **Подмастерьев, К. В.** Электропараметрические методы комплексного диагностирования опор качения / К. В. Подмастерьев. – М. : Машиностроение - 1, 2001. – 376 с.
3. **Марков, В. В.** Электрорезистивный метод и средства диагностирования подшипников качения: Дис... канд. техн. наук / Марков В. В. – Орел, 2004. – 234 с.
4. **Jeffcott, Н. Н.** The lateral vibration of loaded shifts in the neighborhood of a whirling speed -the effects of want of balance [Текст] / Н. Н. Jeffcott // Philosophical Magazine Series 6. – 1919. – 37:304.
5. **Джонсон, К.** Механика контактного взаимодействия: пер. с англ. / К. Джонсон. – М. : Мир, 1989. – 510 с.

УДК 62-97/-98

СПОСОБ И УСТРОЙСТВО НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ПРОЦЕССА ПЛУНЖЕРНОЙ ЭКСТРУЗИИ

А. Н. ЕКИМЕНКО, С. Н. КОЛДАЕВА, О. Ю. КОЛДАЕВ
НПУП «ИНСТИТУТ ИННОВАЦИОННЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ»
Гомель, Беларусь

Авторами разработаны метод и устройство для определения оптимальных технологических параметров процесса прессования изделий методом плунжерной экструзии из металлических пресс-порошков, композиционных материалов и гибких армирующих элементов [1]. Величина прессующего давления (температуры) определяется посредством датчика давления (термопары), установленного внутри полой армирующей арматуры, перемещающейся совместно с формируемым изделием. Схема устройства представлена на рис. 1.

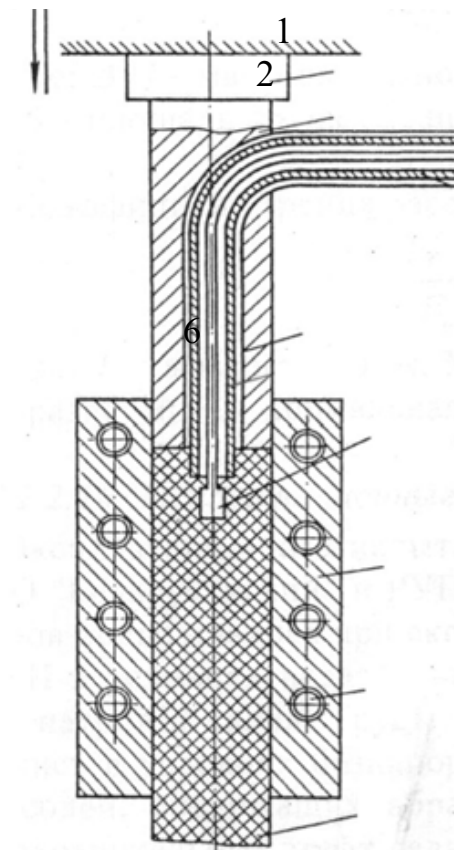


Рис. 1. Схема устройства для определения технологических параметров процесса плунжерной экструзии: 1 – источник давления; 2 – пуансон; 3 – обогреваемая матрица; 4 – контрольный датчик; 5 – нагреватели; 6 – полая арматура; 7 – формируемое изделие

Устройство состоит из источника давления 1 с микроконтроллером, преобразующим аналоговые данные от контрольного датчика 4 в цифровой сигнал для отображения на мониторе (на рисунке не показан), пуансона 2, обогреваемой матрицы 3, контрольного датчика (датчика давления или термомпары), нагревателей 5, полый арматуры 6.

В пуансоне 2 выполнен Г-образный канал, через который проходит полая арматура 6.

Контрольный датчик устанавливается на выходном конце полый арматуры, а провода, соединяющие его с измерительными приборами, проходят внутри арматуры. Формуемое изделие 7 размещается в матрице 3.

Метод осуществляют следующим образом. При возвратно-поступательном движении пуансона 2 пресс-материал порциями подается в обогреваемую матрицу 3. При этом контрольный датчик, размещенный в верхней части изделия, в процессе прессования перемещается вместе с ним по каналу матрицы, измеряя контролируемый параметр (давление или температуру), и передает данные в микроконтроллер.

Изобретение позволяет определять оптимальные технологические параметры изготовления погонажных изделий в зависимости от вида и содержания связующего, геометрических размеров изделия и фракционного состава наполнителя. Кроме того, разработанные метод и устройство позволяют производить научно-обоснованный расчет и конструирование технологической оснастки для изготовления различных погонажных изделий (труб, досок, направляющих и т.д.) из металлических пресс-порошков и композиционных пресс-материалов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. А. с. 1523350 СССР, МКИ⁴ В 27 N 3/02, В 27 N 3/ 28. Способ и устройство для контроля технологических параметров процесса плунжерной экструзии / А. Н. Екименко, В. Я. Прушак, С. Н. Колдаева (СССР).—№ 4291428; заявл. 28.07.87; опубл. 23.11.89, Бюл. № 43.—2 с. : ил.

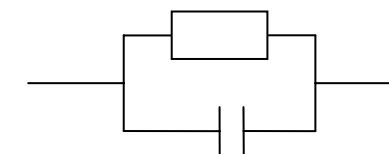


Рис. 1. Схема замещения смазочного слоя

Считая, что через узел протекает постоянный ток, обеспечиваемый стабилизированным источником, можно пренебречь учетом емкости смазочного слоя подшипника. Поэтому можно рассматривать обобщенную схему, содержащую одну ячейку – активное сопротивление.

Активное сопротивление смазочного слоя определяется толщиной гидродинамической пленки, разделяющей рабочие поверхности и удельным электрическим сопротивлением смазочного материала. Согласно теоретическим представлениям, при уменьшении толщины слоя жидкого диэлектрика, его удельное сопротивление и электрическая прочность должны возрастать, поскольку количество примесей, способных образовывать проводящие мостики, уменьшается. Однако экспериментальные испытания подтвердили данную гипотезу только для толщин слоя 10^{-5} – 10^{-3} м, для более тонких пленок удельное сопротивление существенно не изменяется, а величина активного сопротивления имеет близкую к линейной монотонную зависимость от толщины [1]:

$$R_{СПТ} = \rho_{см} \cdot \frac{h}{S_h}, \quad (2)$$

где h – толщина смазочной пленки; $\rho_{см}$ – удельное сопротивление смазочного материала (составляет 10^5 – 10^{13} Ом·м для наиболее часто применяемых синтетических и турбинных масел); S_h – площадь, на которой толщина смазочной пленки равна h .

При разделении поверхностей только граничным слоем смазочного материала (толщина превышает значение, соответствующее началу туннельного эффекта и составляет 0,1...1 мкм) наблюдается уменьшение удельного сопротивления смазочной пленки на несколько порядков [2, 3].

При работе в условиях минимальных толщин смазочного слоя в некоторые моменты может наблюдаться продавливание пленки и контактирование наиболее высоких микровыступов рабочих поверхностей. При вращении вала шероховатые поверхности контактируют друг с другом через тонкие поверхностные смазочные пленки, поверхностное сопротивление которых составляет для рассматриваемых подшипников скольжения порядка и $\rho_{ПС} = 5 \cdot 10^{-2} \dots 1 \cdot 10^{-1}$ Ом·м². Контактное сопротивление поверхностных смазочных пленок согласно [4] определяется:

Е. Н. БИРЮКОВ, Д. В. КОРОТКИЙ, Л. Н. ВИНОГРАДОВА
ФГБОУ ВПО «ЧЕРЕПОВЕЦКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ»
Череповец, Россия

В связи с увеличением скоростей и оптимизацией технологических процессов современное прокатное производство характеризуется интенсификацией нагрузок на оборудование. В этих условиях большое внимание уделяется техническому состоянию наиболее подверженных износу и отказу узлов. К таким узлам относятся подшипниковые опоры. Для решения задач по определению их технического состояния наиболее широкое распространение получили различные методы анализа вибросигналов, методы диагностирования на базе продуктов износа, тепловые и кинематические.

Существует ряд причин по которым определение технического состояния вышеприведенными методами крупногабаритных опор скольжения вызывает технические трудности [1].

Благодаря фундаментальным работам большого круга ученых, достигнуты значительные успехи в области развития электропараметрических методов диагностирования, использование которых позволяет оперативно обнаружить развивающуюся неисправность подшипника, оценить степень ее значимости и предпринять меры к предотвращению незапланированной остановки производственного процесса.

В основу описываемого метода заложен диагностический признак – активное электрическое сопротивление, оцениваемое с помощью полученного непосредственно из зоны трения подшипника скольжения информационного электрорезистивного сигнала.

Основными составляющими электрического сопротивления подшипника R_3 считаются сопротивление стягивания R_{CT} и сопротивление смазочной пленки $R_{СП}$ [2, 3].

$$R_3 = R_{CT} + R_{СП} \quad (1)$$

В условиях жидкостной смазки, характерной для большинства рассматриваемых подшипников, влияние сопротивления стягивания на общее сопротивление незначительно. Схему замещения смазочного слоя можно представить в виде параллельного соединения идеальных: активного сопротивления R_1 и емкости C_1 (рис. 1).

А. Л. ЖАРИН, А. К. ТЯВЛОВСКИЙ
«БЕЛОРУССКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
Минск, Беларусь

Электростатический потенциал поверхности является универсальным параметром, содержащим информацию о химических, структурных, механических, электронных и прочих свойствах поверхностей материалов, а также границ раздела материалов с диэлектрическими и проводящими покрытиями. Электростатический рельеф поверхности материалов зависит от ряда факторов как химического, так и деформационного происхождения. В случае металлов это могут быть локальные изменения такой фундаментальной величины как работа выхода электрона (РВЭ), обусловленные дефектами кристаллической решетки, локальными отклонениями химического состава, адсорбцией атомов и молекул окружающей среды. Регистрация топологии потенциальных полей на поверхности материала позволяет контролировать изменения толщины и сплошности поверхностных пленок, кинетики адсорбции, измерения поверхностных напряжений, неоднородности поверхности и т. д. Визуализация потенциального рельефа позволяет находить «артефакты» на поверхности, не разрешаемые прочими методами, включая оптические.

В настоящее время известны три метода, принципиально позволяющих работать в зондовом режиме, т. е. получать топологию электропотенциальных полей поверхностей материалов. Это, в первую очередь, метод Кельвина-Зисмана (метод вибрирующего конденсатора), метод не вибрирующего конденсатора (предложенный автором), а также ионизационный метод.

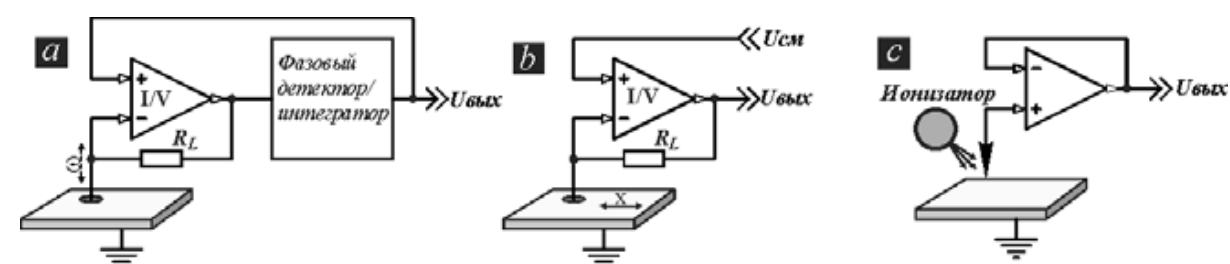


Рис. 1. Схематичное представление методов зондовой электрометрии: *a* – метод Кельвина-Зисмана; *b* – метод не вибрирующего конденсатора; *c* – ионизационный метод

На основе систематических исследований, как самих методов, так и получаемых результатов, авторами было предложено для характеристики этих методов, с учетом локальности измерений, использование обобщающего термина – зондовая электрометрия.

Учитывая, что у методов зондовой электрометрии разрешение по глубине контролируемого слоя практически равно соответствующей величине в методах атомно-силовой микроскопии, а пространственное разрешение не ограничено по величине, можно утверждать, что зондовая электрометрия является расширением методов зондовой микроскопии на инженерные макрообъекты.

Следует отметить, что такой параметр, как РВЭ имеет физический смысл только для металлов и полупроводников, однако, методы зондовой электрометрии работоспособны и в случае диэлектриков, при этом регистрируется такая величина, как потенциал поверхности. Кроме того, рассматриваемые методы применимы для исследования биологических и медицинских объектов, включая *in-vitro*.

Методы зондовой электрометрии имеют относительно простое практическое воплощение, что допускает их использование в процессе различных воздействий на поверхность (механических, электромагнитных, световых, зарядовых и т. п.). Например, они могут применяться в совокупности с зондирующими воздействиями светом и коронным разрядом при инспекции полупроводниковых пластин, обеспечивая получение важной информации для контроля и совершенствования современных полупроводниковых технологий.

Методы зондовой электрометрии позволяют осуществлять оценки дефектов поверхности, плотности и характера их распределения по поверхности, оценивать гомогенность прецизионных поверхностей и др. Таким образом, методы зондовой электрометрии могут стать существенным дополнением имеющегося арсенала методов и средств неразрушающего контроля материалов и изделий в области современных «высоких» технологий.

На рис. 3 представлены результаты компьютерного моделирования и график зависимости температуры на внешней поверхности ограждающей конструкции в центре температурного пятна и поверхности стены, не попадающей под действие градиента температуры.

Все данные по внешним атмосферным условиям и типам применяемой тепловой изоляции заносятся в программный пакет «ELCUT» для построения геометрической модели и проведения теплотехнического расчета.

По компьютерной модели определяем максимальную температуру на наружной поверхности стены в области градиента, размер и вид зоны градиента температуры.

Зная распределение температуры (вид кривой) на внешней поверхности стенки, полученное с помощью компьютерного моделирования и реальное распределение температуры, полученное при расшифровке тепловизионной термограммы, можно судить о состоянии теплоизолирующего покрытия и состоянии ограждающей строительной конструкции.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **ГОСТ 26629–85.** Здания и сооружения. Метод тепловизионного контроля качества теплоизоляции ограждающих конструкций.
2. **Шишкин, А. В.** Тепловизионное обследование ограждающих конструкций строительных сооружений / А. В. Шишкин // Строительная инженерия. – 2005.– № 5.
3. **Кофанов, В. А.** Прогнозирование температурно-влажностных полей в ограждающих конструкциях от воздействий окружающей среды: автореф. дис. ... канд. техн. наук. – Брест : 2008.

E-mail: tshel@itmo.by

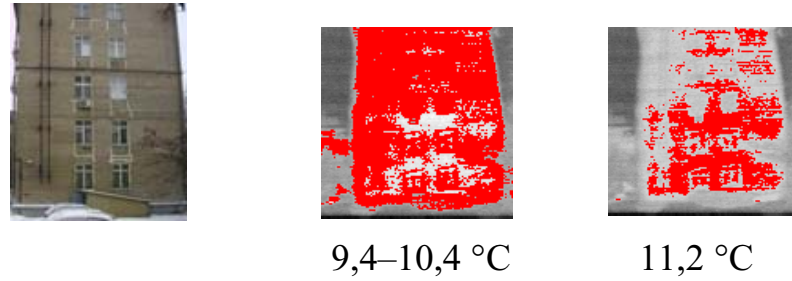


Рис. 1 Фото и изотермы неутепленной поверхности жилого здания из силикатного кирпича

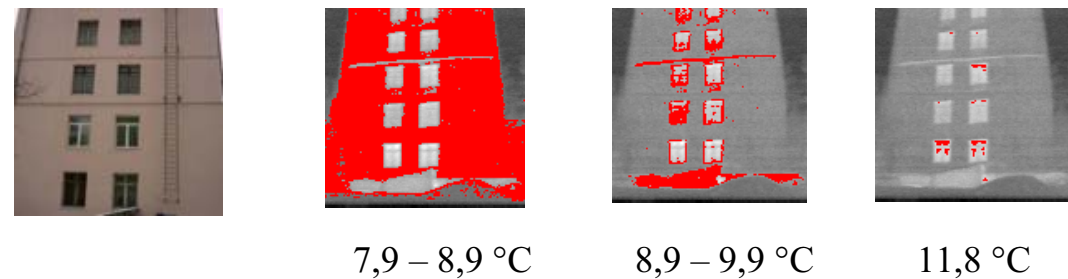


Рис. 2. Фото и изотермы жилого здания с однослойной тепловой изоляцией (минплита) и изотермы утепленной поверхности здания с указанием величин температур изотерм

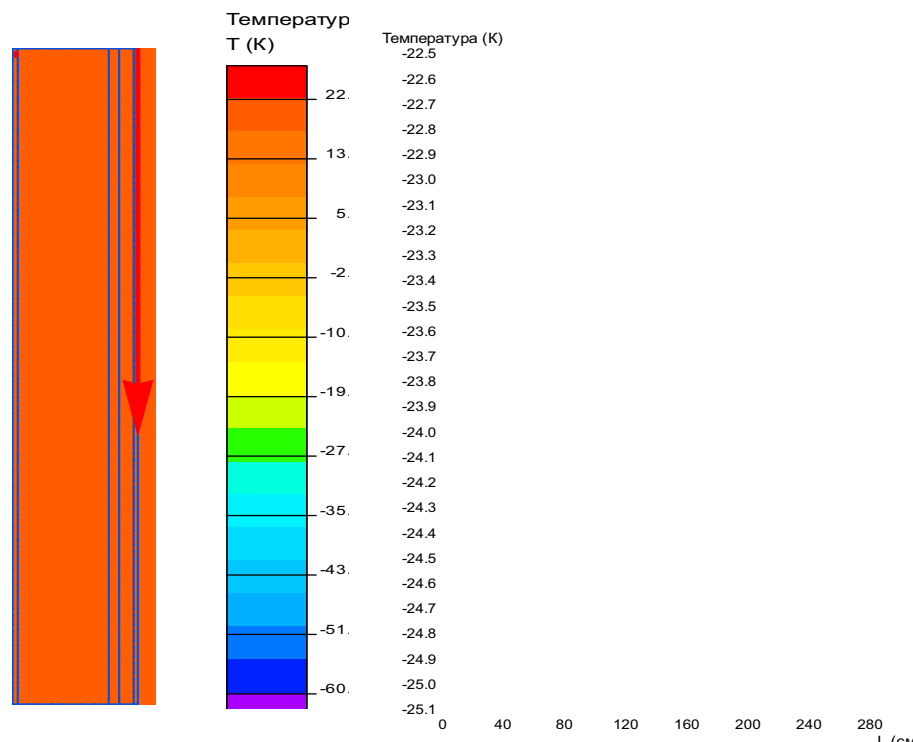


Рис. 3. Кирпичная стена. Наличие воздушного зазора при однослойном теплоизолирующем слое: $T_{\text{нар.возд}} = -25 \text{ } ^\circ\text{C}$, значение наружного коэффициента теплообмена $\alpha = 8 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \text{ } ^\circ\text{C})$; $T_{\text{вн.}} = 22 \text{ } ^\circ\text{C}$ (пятно шириной 52 см), $T_{\text{п}} = -60 \text{ } ^\circ\text{C}$

УДК 620.179.119:621.3.087.61
 КОНТРОЛЬ СВОЙСТВ ПОВЕРХНОСТИ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ОБРАЗЦОВ
 С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЗОНДОВОЙ ЭЛЕКТРОМЕТРИИ

А. Л. ЖАРИН, * А. Г. АНИСОВИЧ, А. К. ТЯВЛОВСКИЙ,
 К. Л. ТЯВЛОВСКИЙ, А. И. СВИСТУН

«БЕЛОРУССКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
 *ГНУ «ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ НАН Беларуси»
 Минск, Беларусь

Объекты исследования изготовлены из углеродистой стали в виде пластин размерами 15x40 мм, после различных видов термообработки (конкретно исследовались образцы, подвергнутые нормализации, обработанные по схеме закалка + отпуск и закаленные образцы), а также сталитового чугуна (без термообработки). В целях сравнения использовались также образцы из латуни. Предметом исследования являлось изменение свойств поверхности данных конструкционных материалов после воздействия магнитным импульсом. В качестве метода исследования была выбрана зондовая электрометрия, предусматривающая бесконтактные измерения пространственного распределения работы выхода электрона (р.в.э.) поверхности с помощью бесконтактного конденсаторного зонда. Достоинствами данного метода являются исключительно высокая чувствительность к любым изменениям состояния исследуемой поверхности, возможность построения карт распределения р.в.э. по поверхности образца, полное отсутствие разрушающих воздействий на образец. Недостатком метода является сложность интерпретации получаемых результатов в случае изменения состояния поверхности образца под действием одновременно нескольких факторов (например, внешних загрязнений и внутренних механических напряжений). Помимо зондовой электрометрии, поверхность образцов исследовалась также традиционными металлографическими методами, что позволило установить корреляцию изменения значений р.в.э. с изменениями структуры и свойств поверхности материалов.

Измерения выполнялись методом сканирующего зонда Кельвина. Исследуемые поверхности имели зеркальную полировку. Сканирование выполнялось в пошаговом режиме, величина шага составляла 1 мм при диаметре зонда также равном 1 мм. Значения р.в.э. оценивались по величине контактной разности потенциалов (к.р.п.) $U_{\text{СРД}}$ между зондом и поверхностью объекта исследования в точке контроля. Погрешность измерения к.р.п., определяемая шумами предварительного усилителя сигнала зонда Кельвина, составляла $\pm 2 \text{ мВ}$. Для визуализации картины распределения р.в.э. использовалось представление значений $U_{\text{СРД}}$ условными индексированными цветами. Для удобства интерпретации полученных результатов шкалы для всех

полученных визуализированных изображений были нормированы одинаковым образом.

Измерения для каждого из образцов выполнялись дважды: до воздействия электромагнитным импульсом и после такого воздействия. Визуализированные изображения обрабатывались средствами программного пакета OriginPro 7.5. Для всех визуализированных картин были вычислены гистограммы распределения значений к.р.п. Ширина столбца гистограммы во всех случаях была принята равной 2 мВ, что соответствовало разрешающей способности используемого зонда Кельвина.

Пример полученных при использовании данного метода контроля результатов приведен на рис. 1.

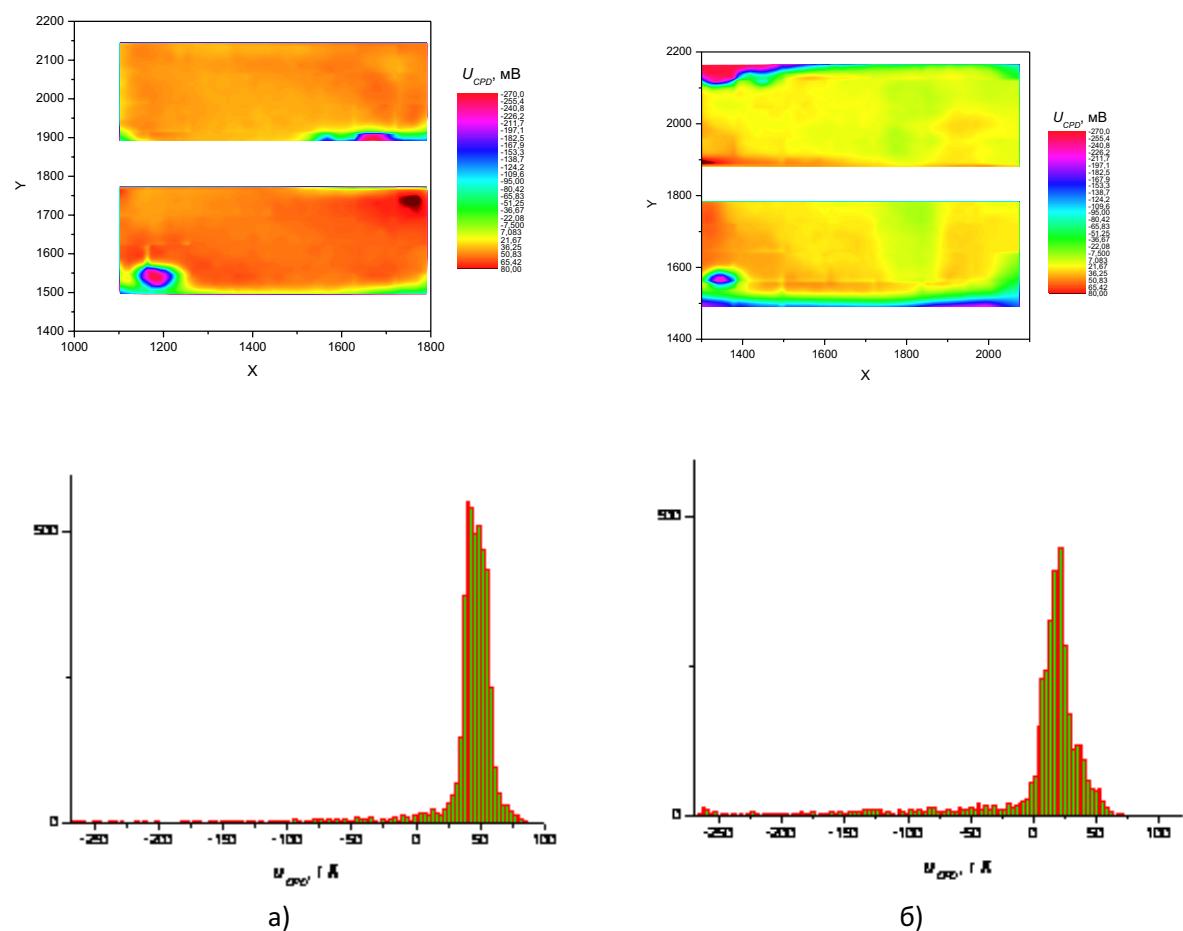


Рис. 1. Визуализированные карты и гистограммы распределения р.в.э. пары образцов из углеродистой стали, подвергнутых нормализации: а – до воздействия магнитным импульсом; б – после воздействия магнитным импульсом

Наиболее явно изменения прослеживаются на гистограммах распределения контактной разности потенциалов. Из рис. 1 видно, что до обработки центр распределения приходился на значение 50 мВ, а после обработки сместился к величине 20 мВ, т.е. работа выхода электрона (знак которой противоположен к.р.п.) увеличилась на 30 мВ. "Раздвоение" пика второй гистограммы, возможно, связано с тем, что при металлографическом исследова-

УДК 536.6

МЕТОД НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА ТЕПЛОИЗОЛЯЦИИ СТРОИТЕЛЬНЫХ ОГРАЖДАЮЩИХ КОНСТРУКЦИЙ

Т. Е. ЩЕЛАК, С. М. ДАНИЛОВА-ТРЕТЬЯК, В. Г. ЛЕЩЕНКО
ГНУ «ИНСТИТУТ ТЕПЛО- И МАССООБМЕНА им. А. В. Лыкова
НАН Беларуси»
Минск, Беларусь

В работе представлены результаты исследований методом неразрушающего контроля состояния теплозащитных материалов, используемых при утеплении строительных конструкций.

Существующие методики термографической инспекции строительных сооружений в естественных условиях ориентированы, главным образом, на качественный характер получаемых результатов и не претендуют на количественные оценки. Они не регламентируют жесткую технологию, а дают более широкое описание необходимых действий, не ограничивая исполнителей в том, как их следует выполнять. Эти методики не являются жестко нормативными, ежегодно обсуждаются и пересматриваются, совершенствуются при участии всех заинтересованных сторон [1, 2].

Одним из современных методов неразрушающего контроля является активный тепловой неразрушающий контроль (АТНК), который благодаря своей автономности, информативности, возможности сплошного и непрерывного наблюдения, высокой степени точности и оперативности позволяет значительно расширить надежность оценок технического состояния и качества теплозащитных материалов при утеплении строительных объектов.

Основой активного теплового неразрушающего контроля строительных конструкций является создание дополнительного градиента температур между наружной и внутренней поверхностями строительной конструкции.

Оценку состояния утепления производят путем сравнения экспериментальных данных (полученных тепловизионных результатов измерения с помощью АТНК) со значениями теплофизических параметров материалов, контролируемой конструкции, согласно проекту [3].

Натурные эксперименты проводились с применением тепловизора SnapShot – 525, спектральный диапазон 8–14 мкм в отопительный период. Температура внутри помещений составляла 18–20 °С в неутепленном доме и 25–28 °С в утепленном.

На рис. 1 приведены фото и изотермы неутепленной поверхности жилого здания из силикатного кирпича. На рис. 2 – фото жилого здания и изотермы утепленной поверхности здания (минплита 80 мм) и изотермы с указанием температур изотерм.

Из рис. 1, 2 следует, что как при увеличении диаметра контактных окончаний конических электродов, так и при росте усилия прижима сферического электрода к изделию происходит уменьшение наклона термоэлектрических кривых. Чувствительность к толщине покрытия, особенно в нижней части диапазона, резко снижается. При этом исследуемые факторы не оказывают существенного влияния на величину термоэдс, измеренную на основании без покрытия, что говорит не об изменении температуры контакта нагреваемого электрода с изделием, а о перераспределении температурного поля в поверхностном слое изделия и изменении вклада в суммарную эдс источника, связанного с парой покрытие-основание. Увеличение диаметра контактной площадки свыше 1,5 мм (кривые 4, 5 на рис. 1) приводит к практически полному, в рассмотренном диапазоне толщин никелевых покрытий, слиянию зависимостей; однако, при этом возрастает разброс показаний, связанный с неполным прилеганием плоскости окончания электрода к поверхности покрытия.

Сравнение полученных данных с данными [3] показывает, что характер изменения термоэлектрических зависимостей в обеих работах аналогичен, однако, при использовании в качестве основания стали 20, эффект примерно в два раза выше, чем в случае выполнения основания из бронзы БрХ08. Применение предложенной в [3] методики частичного исправления нарушенной вследствие истирания электродных окончаний градуировки за счёт регулировки прижима здесь также возможно, но основное внимание должно быть обращено на выбор материала электродов с достаточно высокой износостойкостью. Также конструкция преобразователя должна обеспечивать высокую степень постоянства прижима электродов к изделию с минимальным трением в подвижных узлах.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Суворов, Л. М. Термоэлектрический метод измерения толщины гальванических покрытий. / Л. М. Суворов // Заводская лаборатория. – 1964. – Т. 30–№ 8. – С. 959–962.
2. Шарандо, В. И. Перспективы термоэлектрического метода в исследовании свойств металлов и поверхностных слоёв. / В. И. Шарандо // Достижения физики неразрушающего контроля / Сб. науч. тр., посвящённый 40-летию ИПФ НАН Беларуси. – Минск : 2003. – С. 99–118.
3. Лухвич, А. А. Влияние площади контакта и усилия прижима при термоэлектрической толщинометрии. / А. А. Лухвич, В. И. Шарандо // Дефектоскопия. – 1992. – № 12. – С. 75–77.
4. Приборы термоэлектрические типа ПИТ / Ин-т прикл. физ. НАН Беларуси [Электронный ресурс]. – 2012. – Режим доступа: <http://iaph.bas-net.by/~lab1/ru/pit.html>. – Дата доступа: 28.05.2012.

E-mail: lab1@iaph.bas-net.by

нии часть поверхности каждого из образцов подвергалась травлению, что привело к небольшому отличию к.р.п. протравленного участка поверхности образцов (справа на визуализированной карте). В левом нижнем углу образца № 1 (нижний на обеих картах) присутствует небольшое по размерам пятно с резко отличающейся величиной р.в.э. – возможно, дефект химического состава или устойчивое загрязнение. Об устойчивости дефекта можно судить по тому, что он проявляется как до, так и после воздействия магнитным полем.

Наибольший рост р.в.э. после воздействия магнитным импульсом наблюдался у нормализованных образцов, немного меньший – у закаленных и отпущенных. Картины распределения р.в.э. образцов из закаленной стали практически не изменялись. У чугуновых образцов воздействие магнитным импульсом, напротив, привело к понижению работы выхода электрона. Равномерность распределения р.в.э. по центральным областям образцов после обработки уменьшилась, однако, переход от центральных областей к краям также стал менее резким. Распределение значений к.р.п. на гистограмме перестало быть двухмодальным и по форме приблизилось к классическому Гауссову распределению. Это позволяет говорить о том, что проведенная обработка способствовала выравниванию свойств поверхности между областями, прежде имевшими существенно различные значения р.в.э. Учитывая, что эффект изменения р.в.э. после магнитной обработки у образцов из немагнитных материалов (латуни) не наблюдался, можно предположить, что выявленные изменения связаны с магнитными свойствами стали и чугуна и отражают процесс перестройки доменной структуры в относительно мягких (незакаленных) материалах под действием импульсного магнитного поля. Изменение структуры незакаленных материалов подтверждается также металлографическими исследованиями. При этом закаленная сталь под металлографическим микроскопом демонстрировала ту же структуру, что и до магнитного воздействия.

Важным результатом явилась выявленная отрицательная корреляция между значениями р.в.э. и твердости поверхности. Так, у незакаленных образцов твердость после воздействия магнитным импульсом повышалась (больше у нормализованных, меньше – у отпущенных образцов), у чугуновых – понижалась, у закаленных оставалась неизменной. Таким образом, зондовая электрометрия может представлять интерес как средство неразрушающего контроля твердости поверхности металлических образцов.

УДК 621.365

ОПЕРАТИВНЫЕ МЕТОДЫ КОНТРОЛЯ И ДИАГНОСТИКИ
ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СВОЙСТВ КОМПОЗИЦИЙ НА ОСНОВЕ
ВТОРИЧНЫХ ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ

В. И. ЗУБКО, Д. В. ЗУБКО
«БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
Минск, Беларусь

Разработаны оперативные методы контроля и диагностики электрических свойств композиций электротехнического назначения на основе вторичных полимерных материалов. В основе создания высокочувствительного измерительного преобразователя и разработки методики положено определение электрических показателей: диэлектрической проницаемости, удельной объемной электрической проводимости и тангенса угла диэлектрических потерь пластинчатых композиций на основе вторичных полимерных материалов в диапазоне частот 50 Гц – 1 МГц.

Высокочувствительный измерительный преобразователь для контроля электрических свойств пластинчатых композиций на основе вторичных полимерных материалов представлен на рис. 1.

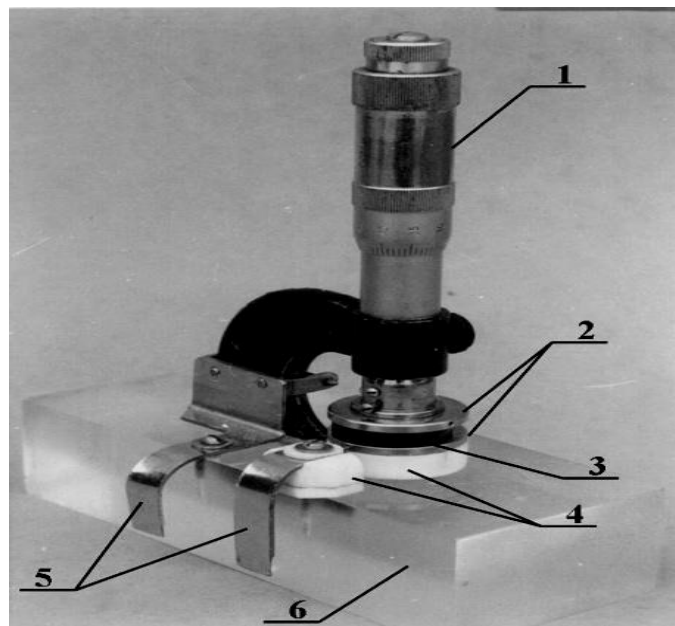


Рис. 1. Конструкция высокочувствительного измерительного преобразователя для оперативного контроля и диагностики электрических свойств пластинчатых композиций на основе вторичных полимерных материалов в диапазоне частот электрического поля 50 Гц – 1 МГц: 1 – микрометрическое устройство; 2 – дисковые электроды; 3 – измерительное пространство; 4 – фторопластовые прокладки; 5 – съемные контакты; 6 – основание из оргстекла

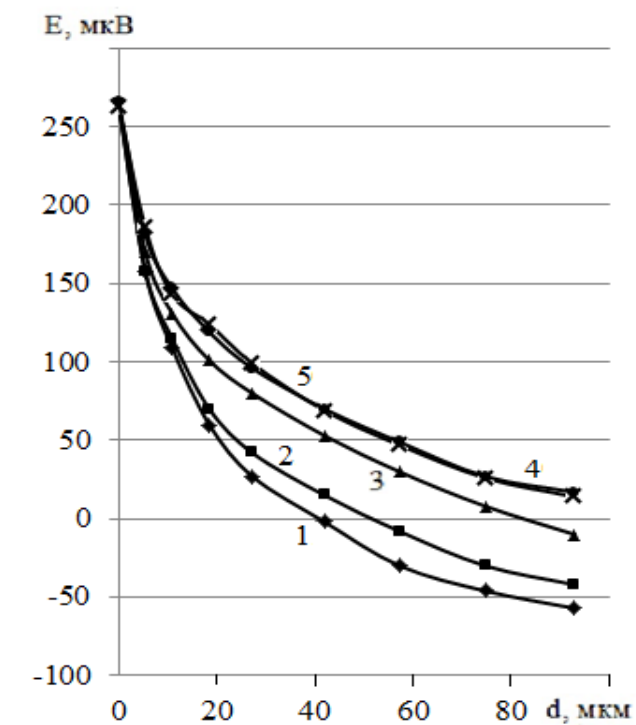


Рис. 1. Графики зависимости измеренной термоэдс от толщины никелевого покрытия на стали 20 при разном диаметре контактных окончаний электродов: 1 – 0,2 мм; 2 – 0,5 мм; 3 – 1,0 мм; 4 – 1,5 мм; 5 – 2,2 мм.

На рис. 2 изображена зависимость измеренной термоэдс от толщины никелевого покрытия на стали 20 при различной нагрузке на нагреваемый электрод. Последний, как и в предыдущем случае, был выполнен из стали 45 в виде стержня диаметром 5 мм, но имел сферическое окончание с радиусом закругления 2,5 мм; прижим осуществлялся последовательно тремя пружинами, обеспечивавшими усилия 1; 3 и 8 Н.

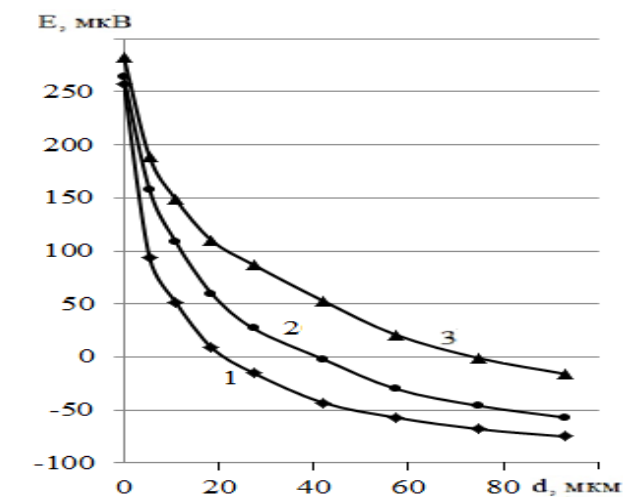


Рис. 2. Графики зависимости измеренной термоэдс от толщины никелевого покрытия на стали 20 при разном усилии прижима сферического электрода к изделию: 1 – 1 Н; 2 – 3 Н; 3 – 8 Н

УДК 620.179.1+537.3222.11
ВЛИЯНИЕ ФОРМЫ ЭЛЕКТРОДОВ И КОНТАКТНОЙ НАГРУЗКИ ПРИ
ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКОМ КОНТРОЛЕ НИКЕЛЯ НА СТАЛИ 20

В. И. ШАРАНДО
ГНУ «ИНСТИТУТ ПРИКЛАДНОЙ ФИЗИКИ НАН Беларуси»
Минск, Беларусь

Термоэлектрический метод толщинометрии гальванических покрытий впервые предложен и обсуждён в [1]. При разработке конструкций промышленных толщиномеров существенное значение приобретает необходимость учёта факторов, влияющих на величину и стабильность измеряемого сигнала и подверженных возможным вариациям в процессе эксплуатации прибора. Ряд вопросов, в том числе связанных с исследованием зависимости результатов измерений от условий контроля и свойств используемых материалов, рассмотрен в обзорной работе [2]. Одним из основных параметров, определяющих чувствительность к толщине и вид градуировочных кривых, является размер контакта нагреваемого электрода с поверхностью изделия. Он может изменяться вследствие износа электрода (появление на окончании торцевой площадки), а также не быть стабильным из-за плохо контролируемой нагрузки в контакте. Ранее [3] исследования этого фактора были выполнены для никелевых покрытий на бронзе БрХ08. Необходимость проведения подобных работ для никеля на конструкционных сталях связана с зависимостью результата от соотношения теплофизических характеристик материалов электрода, покрытия и основания. Так, коэффициенты теплопроводности сталей и сплавов на основе меди могут различаться многократно, и, вследствие этого, изменение площади контакта при разных материалах основания не одинаковым образом перераспределяет температуры в поверхностном слое.

При исследованиях использован электронный блок прибора ПИТ-2 [4] с накладным преобразователем, содержащим два электрода; последние подпружинены в массивных металлических блоках, один из которых имел температуру окружающей среды, а второй – нагревался. Разность температур между блоками поддерживали постоянной, равной 50°C .

Образцы имели размеры $40 \times 40 \times 8$ мм, на одну из плоскостей было нанесено гальваническое никелевое покрытие 20×20 мм.

На рис. 1 изображена зависимость измеренной термоэдс от толщины никелевого покрытия на стали 20 при вариации диаметра контактных окончаний электродов. Сменные нагреваемые электроды выполнены из стали 45 в виде стержней диаметром 5 мм, имели окончания в форме усеченного конуса с углом 45° и диаметрами прилегающего к покрытию основания от 0,2 до 2,2 мм. Прижим осуществлялся с усилием 3 Н.

Созданный измерительный преобразователь по сравнению с существующими аналогами обладает следующими преимуществами:

- позволяет получать информацию о комплексе электрических показателей композиций в диапазоне частот 50 Гц – 1 МГц;
- позволяет определять толщину пластины композиции с помощью с точностью $\pm 0,005$ мм;
- обеспечивает однородное электрическое поле в объеме микрометрического устройства от 0,1 до 6 мм непосредственно в измерительном пространстве контролируемого образца композиции в диапазоне частот 50 Гц – 1 МГц;
- обладает малой величиной диэлектрических потерь – $1,8 \cdot 10^{-5}$.

Микрометрическая ячейка представляет собой измерительный конденсатор, образованный двумя дисковыми электродами, изготовленными из нержавеющей стали, поверхности которых отшлифованы, отполированы и хромированы. Распределение напряженности электрического поля (особенно на концах электродов конденсатора) является сложной функцией от толщины и диэлектрической проницаемости образца. Погрешности измерения, обусловленные этими факторами, могут быть исключены калибровкой измерительной ячейки с помощью двух эталонных пластин с известной диэлектрической проницаемостью. Для обеспечения электрического контакта образцы композиций, с тщательно отполированными поверхностями, покрывали эвтектическим раствором In – Ga.

Для контроля электрических свойств композиций разработана методика, в основу которой положено раздельное измерение емкостной и активной составляющих импеданса микрометрической ячейки, заполненной пластинчатой композицией. Относительная диэлектрическая проницаемость, удельное объемное электрическое сопротивление, тангенс угла диэлектрических потерь пластинчатых композиций на основе вторичных полимерных материалов вычисляли по формулам, приведенным в работе [1].

Исследованы электрические свойства композиций на основе вторичного полиэтилена в зависимости от содержания и типа наполнителя в диапазоне частот 50 Гц – 1 МГц. В качестве связующего (диэлектрической матрицы) использован вторичный полиэтилен низкой плотности, наполнителями композиций являются порошкообразные углерод и электролитическая медь. Результаты исследований показали, что величины диэлектрической проницаемости и удельной объемной электрической проводимости композиций на основе вторичного полиэтилена незначительно зависят от частоты электрического поля, тогда как содержание и тип наполнителя оказывают существенное влияние на их изменение.

Установлено, что величина относительной диэлектрической проницаемости композиций с повышением содержания порошка электролитической меди от 10 до 50 мас. % увеличивается примерно в два раза, тогда как удельная объемная электрическая проводимость возрастает, примерно, на один

порядок от значений $2,5 \cdot 10^{-7} \text{ Ом}^{-1} \cdot \text{м}^{-1}$ до $3,5 \cdot 10^{-6} \text{ Ом}^{-1} \cdot \text{м}^{-1}$ соответственно. В то же время, при изменении содержания порошкообразного углерода от 20 до 50 мас. % значительные изменения претерпевает величина удельной объемной электрической проводимости композиции (см. рис. 2) повышается при этом на 4 порядка от значений $1 \cdot 10^{-7} \text{ Ом}^{-1} \cdot \text{см}^{-1}$ до $1 \cdot 10^{-3} \text{ Ом}^{-1} \cdot \text{см}^{-1}$ соответственно [2].

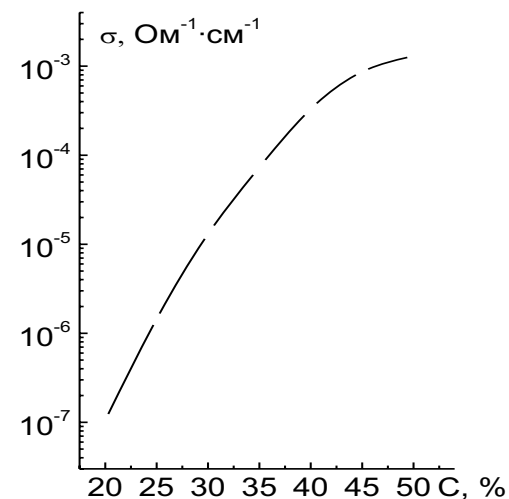


Рис. 2. Влияние содержания порошка углерода на удельную объемную электрическую проводимость композиции на основе вторичного полиэтилена. Частота электрического поля составляет 1 МГц

Таким образом, применение различных типов наполнителей дает возможность на одной и той же диэлектрической матрице получать ряд композиций с существенно отличающимися электрическими свойствами. Созданный измерительный преобразователь и разработанная методика используются на предприятиях Беларуси для контроля и диагностики электрических свойств электроизоляционных пресс-материалов, применяемых в высоковольтных электрических и радиотелевизионных устройствах.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Зубко, В. И.** Об учете погрешностей при контроле электрических свойств материалов с большими потерями / В. И. Зубко, А. И. Лесникович, Д. В. Зубко // Техническая электродинамика. – 2008 – № 2. – С. 64–68.

2. **Пат. 11018 РБ, МПК Н 01 В 1/24; С 08 L 23/00.** Электропроводящая полимерная композиция / Д. В. Зубко, В. И. Зубко; заявитель и патентообладатель Белгосуниверситет. – № 20070558; заявл. 14.05.07; опубл. 30.08.08, Бюл. № 4. – 3 с.

E-mail: Zubko@bsu.by

оказываются равными $0,5 \pm 0,001$, то есть, как и в случае намагничивания магнитного полупространства однородным внешним магнитным полем.

Как показано в [3], по мере уменьшения толщины d магнитного листа (то есть при проведении численных расчетов полагалось, что $\mu_3 = 1$, $\sigma_3 = 0$ См/м (рис. 1)) ,при неизменных остальных параметрах листа и намагничивающей системы, величина h_{pm} в некоторой области листа под намагничивающим витком возрастает. Этот факт можно интерпретировать как уменьшение N_{Lp} по мере уменьшения d . Следовательно, при неизменном намагничивающем поле накладного преобразователя тангенциальная составляющая намагниченности в пластине, намагничиваемой (квазистатически) этим преобразователем, возрастает.

Было также определено численное значение, к которому приближается N_{Lp} по мере уменьшения d к нулевому значению. Расчет показывает, что в этом случае и N_{Lp} стремится к нулю. Другими словами, по мере уменьшения d значение h_{pm} приближается к H_{pm} . Коэффициент размагничивания вдоль оси Z по мере уменьшения d возрастает, приближаясь к единице.

Все представленные в работе выводы остаются справедливыми, как показал численный расчет, и при значениях μ_2 , R , h , I_m , существенно отличающихся от приведенных выше.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Чернышев, А. В.** Особенности формирования высших гармонических составляющих при перемагничивании тонколистовых образцов полем накладного преобразователя / А. В. Чернышев // Дефектоскопия. – 1995. – № 8. – С. 89–93.

2. **Захаров, В. А.** Магнитостатика систем с ферромагнетиками / В. А. Захаров. – Свердловск : УНЦ АН СССР, 1986. – 94 с.

3. **Чернышев, А. В.** Распределение тангенциальной составляющей напряженности магнитного поля в ферромагнитной пластине, намагничиваемой витком с током / А. В. Чернышев // Современные методы и приборы контроля качества и диагностики состояния объектов: материалы междунар. научн.-техн. конф. – Могилев, 2004. – С. 76–77.

4. **Соболев, В. С.** Накладные и экранные датчики // В. С. Соболев, Ю. М. Шкарлет. – Новосибирск : Наука, 1967. – 144 с.

E-mail: lab5@iaph.bas-net.by

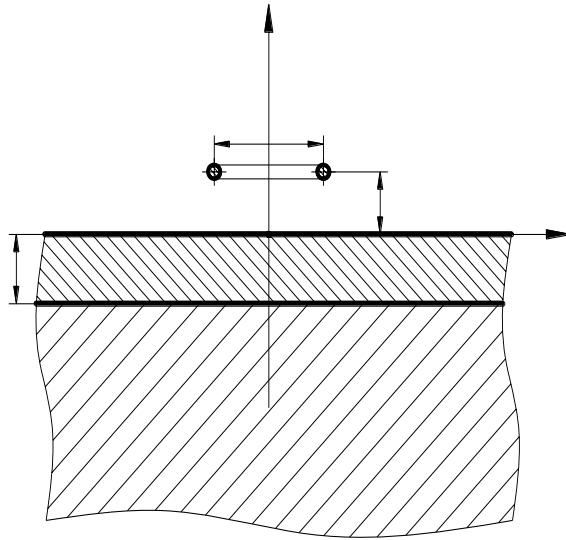


Рис. 1. Система витка и двухслойного магнитного полупространства

Обозначим указанные составляющие уже в магнитном нижнем полупространстве как h_{pm} и h_{zm} . Известно, что при намагничивании магнитного полупространства однородным внешним магнитным полем, вектор напряженности H которого перпендикулярен его поверхности, коэффициент размагничивания $N=0,5$. У намагничиваемого однородно ферромагнитного образца, имеющего магнитную восприимчивость материала χ , коэффициент размагничивания N определяется выражением:

$$N = \frac{H - h_i}{\chi h_i}, \quad (1)$$

где h_i – напряженность внутреннего магнитного поля в объеме образца.

На основе найденных в результате численного расчета в определенных точках нижнего полупространства значений $H_{pm}(\rho, z)$ и $H_{zm}(\rho, z)$, а также значений $h_{pm}(\rho, z)$ и $h_{zm}(\rho, z)$ в тех же точках, в них были определены значения, так называемого, локального коэффициента размагничивания $N_L(\rho, z)$ по выражению, сходному с (1). Например, локальный коэффициент размагничивания вдоль координатной оси ρ , обозначим его $N_{L\rho}(\rho, z)$, определялся в выбранной точке из выражения

$$N_{L\rho}(\rho, z) = \frac{H_{\rho m}(\rho, z) - h_{\rho m}(\rho, z)}{\chi h_{\rho m}(\rho, z)}. \quad (2)$$

Расчет показал, что как $N_{L\rho}(\rho, z)$, так и коэффициент размагничивания вдоль координатной оси Z , обозначим его $N_{Lz}(\rho, z)$, определяемый выражением

$$N_{Lz}(\rho, z) = \frac{H_{zm}(\rho, z) - h_{zm}(\rho, z)}{\chi h_{zm}(\rho, z)}, \quad (3)$$

В. А. КАРПЕНКО, В. Н. ЛАПТИНСКИЙ, В. Н. МОГИЛЕВИЧ,
А. А. РОМАНЕНКО

ГУ ВПО «БЕЛОРУССКО-РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
УО «МОГИЛЕВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ПРОДОВОЛЬСТВИЯ»
Могилев, Беларусь

В работе [1] получены выражения для коэффициентов отражения волн в виде:

$$R_{s,p} = \pm (R_F + r(0)) / (1 + R_F r(0)), \quad (1)$$

где верхний и нижний знаки относятся к волнам s - и p - поляризации соответственно. При этом для s - волн $R_F = (u_a - u(0)) / (u_a + u(0))$, для p - волн $R_F = (u_a / \varepsilon_a - u(0) / \varepsilon(0)) / (u_a / \varepsilon_a + u(0) / \varepsilon(0))$, $u_a = k_0 \sqrt{\varepsilon_a - \sin^2 \varphi}$, $u(0) = k_0 \sqrt{\varepsilon(0) - \sin^2 \varphi}$, $\varepsilon(0)$ – значение диэлектрической проницаемости неоднородного слоя на границе $z = 0$, ε_a – диэлектрическая проницаемость окружающей среды, k_0 – волновое число вакуума, φ – угол падения волны, величина $r(0)$ в первом приближении дается соотношением [1]

$$r(0) = r_1(0) = - \int_0^\infty \gamma(z) \exp(-2i\tilde{u}(z)) dz, \quad (2)$$

где $\gamma(z) = v'(z) / (2v(z))$, $v(z) = u(z) = k_0 \sqrt{\varepsilon(z) - \sin^2 \varphi}$ для s - волн и $v(z) = u(z) / \varepsilon(z)$ для p - волн, $\varepsilon(z)$ – диэлектрическая проницаемость неоднородного слоя, расположенного в области $z \geq 0$, $\tilde{u}(z) = \int_0^z u(t) dt$.

Обычно диэлектрическая проницаемость среды $\varepsilon(z)$ при $z \geq 0$ записывается в виде

$$\varepsilon(z) = \varepsilon_s + \Delta\varepsilon f(z), \quad (3)$$

где ε_s – диэлектрическая проницаемость подложки, $\sup_{z \geq 0} |f(z)| = 1$.

Можно показать, что если в правой части равенства (1) сохранить только линейные по $\Delta\varepsilon$ члены, то в результате получают коэффициенты отражения в борновском приближении. Поэтому формулы (1, 2) могут быть принятой основой для решения обратной задачи, которая формулируется как основное уравнение эллипсометрии

$$\operatorname{tg}\psi \exp(i\Delta) = R_p/R_s. \quad (4)$$

Левая часть равенства (4) – экспериментально наблюдаемая величина, зависящая от угла падения света, а в правой части заданными являются величины диэлектрической проницаемости окружающей среды (ε_a) и подложки (ε_s). В соответствии с формулой (3) определению из уравнения (4) подлежат скачок $\Delta\varepsilon$ и функция $f(z)$.

Известно, что данная обратная задача математически некорректна, поскольку не имеет однозначного решения. Поэтому ее решение обычно ищут в достаточно узком классе функций $f(z)$. Ниже рассматривается класс функций, дифференцируемых неограниченное число раз и удовлетворяющих условию

$$\lim_{z \rightarrow \infty} \frac{d^n f(z)}{dz^n} = 0, \quad n = 0, 1, 2, \dots$$

Очевидно, функция $f(z)$ представима формальным рядом Маклорена

$$f(z) = \sum_{n=0}^{\infty} \frac{1}{n!} \frac{d^n f(0)}{dz^n} z^n. \quad (5)$$

Неоднородные слои, формируемые в приповерхностной области диэлектрика, например, методами диффузии, эффузии и ионного обмена, описываются именно таким классом функций.

В данной работе получена формула типа [2]

$$r_1(0) = -\frac{1}{2} \left[\sum_{j=1}^m \frac{1}{\mu^j} \varphi_j(0) + \rho_m(0) \right],$$

$$\text{где } \varphi_0(z) = \ln v(z), \quad \varphi_j(z) = \frac{1}{a(z)} \frac{d\varphi_{j-1}(z)}{dz}, \quad \rho_m(z) = \frac{1}{\mu^m} \int_z^{\infty} \varphi_m'(t) \exp(-\mu \tilde{a}(t)) dt,$$

$$\mu = -2ik_0, \quad a(z) = \sqrt{\varepsilon(z) - \sin^2 \varphi}, \quad \tilde{a}(z) = \int_0^z \sqrt{\varepsilon(t) - \sin^2 \varphi} dt, \text{ штрихом обозначена производная (по } t).$$

Численный эксперимент с экспоненциальным ($f(z) = \exp(-z/d)$) и гауссовым ($f(z) = \exp(-(z/d)^2)$) профилями со скачками $\Delta\varepsilon$, характерными для реальных слоев, показывает, что число членов разложения для $r_1(0)$ не превышает четырех, если погрешность эллипсометрических измерений составляет $0,01^\circ$, а отношение $d/\lambda \geq 0,25$, λ – длина волны в вакууме). Это означает, что возможности эллипсометрического метода восстановления профиля неоднородного слоя $f(z)$ принципиально ограничены погрешностью измерений. Так, для упомянутых выше моделей неоднородных слоев, эллип-

А. В. ЧЕРНЫШЕВ

ГНУ «ИНСТИТУТ ПРИКЛАДНОЙ ФИЗИКИ НАН Беларуси»

Минск, Беларусь

В ряде случаев неразрушающего контроля ферромагнитных изделий, имеющих форму пластины, для намагничивания применяется накладной преобразователь, имеющий вид катушки. В этом случае наблюдаются некоторые особенности в механизме намагничивания (перемагничивания) пластины, которые отсутствуют при намагничивании массивного образца. Например, при перемагничивании листового образца полем накладного преобразователя, которое изменяется по гармоническому закону, наблюдается возрастание доли амплитуд высших гармонических составляющих в сигнале вторичной эдс преобразователя по мере уменьшения толщины листа [1]. В [2] указано, что "тонкий магнитный лист намагничивается до состояния, близкого к насыщению, полем накладной катушки уже при сравнительно слабых напряженностях". В [3] для случая намагничивания листа полем витка с током показано, что по мере уменьшения его толщины – возрастает амплитуда тангенциальной (параллельной поверхностям пластины) составляющей результирующей напряженности магнитного поля в области листа под витком.

В настоящей работе расчет распределения напряженности магнитного поля в листе, намагничиваемом квазистатически полем витка с током, проводился по формулам из [4] (при этом полагается, что магнитная проницаемость листа является константой). Рассматриваемая система витка и двухслойного магнитного полупространства показана на рис. 1 (при расчетах применяется цилиндрическая система координат). Верхнее полупространство является свободным, его относительная магнитная проницаемость μ_1 принята равной единице, удельная электрическая проводимость $\sigma_1 = 0$ См/м.

В начале были проведены численные вычисления амплитуд тангенциальной H_{pm} и нормальной H_{zm} составляющих напряженности магнитного поля в некоторых точка нижнего полупространства в предположении, что оно, как и верхнее, является свободным. При этом полагалось, что угловая частота синусоидального тока, проходящего по витку, равна $0,00001$ рад/сек, $R = 10$ мм, $h = 1$ мм, амплитудное значение тока I_m составляет 1 А. Затем в тех же точках был проведен расчет величин амплитуд тех же составляющих амплитудного значения напряженности магнитного поля, но при условии, что нижнее полупространство является магнитным (полагалось, что относительные магнитные проницаемости $\mu_1 = \mu_2 = 100$ (рис. 1).

таблице приведены также результаты, полученные с помощью многоугловой эллипсометрии. Как видно из таблицы, предлагаемый подход обеспечивает точность решения обратной оптической задачи, сопоставимую с точностью эллипсометрических измерений. Измерения угловой зависимости коэффициента отражения лазерного пучка от поверхности исследуемой структуры были выполнены с применением техники волноводной спектроскопии, но при отсутствии призмного устройства связи.

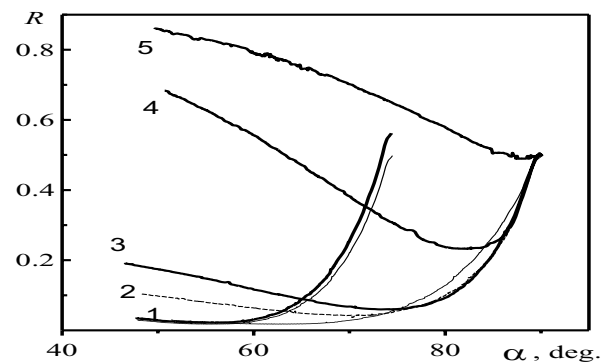


Рис. 1. Угловые зависимости коэффициента отражения пучка He-Ne лазера ТМ-поляризации

Угловые зависимости коэффициента отражения пучка He-Ne лазера ТМ-поляризации, измеренные при его отражении от осажденных методом термического напыления на подложку слоев алюминия толщиной 2 (кривая 1), 3 (кривая 2), 5 (кривая 3), 18 (кривая 4) и 26 нм (кривая 5) и представленные на рис. 1., иллюстрируют эффективность предлагаемого подхода. Следует отметить, что данная техника позволяет контролировать и состояние поверхности металлического слоя. На рис. 2 приведены угловые зависимости коэффициента отражения лазерного пучка от пленок Al толщиной 3 нм до (1) и после окисления (2).

Обработка приведенных данных показала, что данный метод, будучи гораздо более простым в приборной реализации, обеспечивает точность результатов, сопоставимую с данными многоугловой эллипсометрии

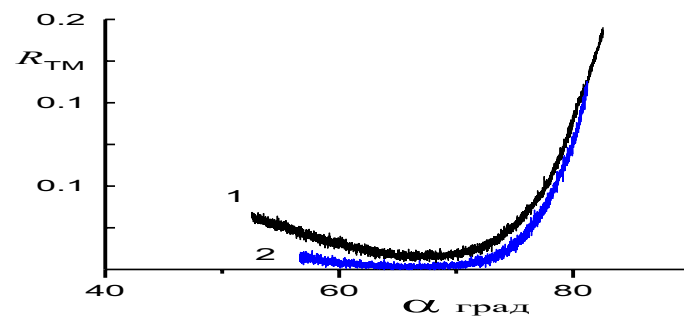
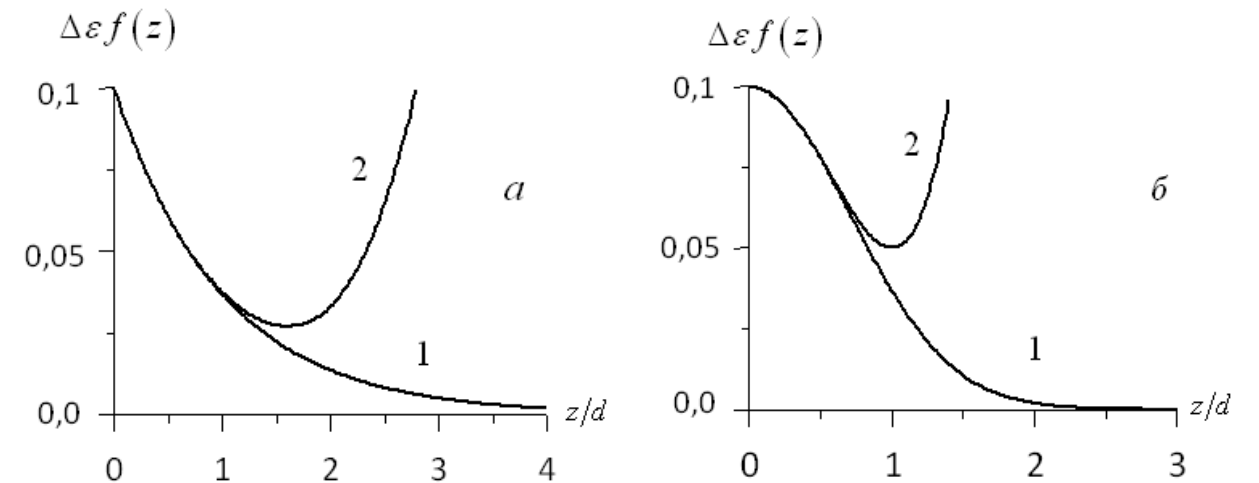


Рис. 2. Угловые зависимости коэффициента отражения лазерного пучка от пленок Al толщиной 3 нм до (1) и после окисления (2)

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Waveguide spectroscopy of thin films. New York. Academic Press. – 2005.

симметрические измерения позволяют из уравнения (4) определить в разложении (5) не более пяти первых членов, которые однозначно определяют профиль $f(z)$ только в приповерхностной области диэлектрика, оставляя открытым вопрос о его поведении в глубине. На рис. 1. изображены графики экспоненциального и гауссова профилей и их приближений в виде ряда (5), в котором все слагаемые с номерами $n > 4$ равны нулю. Из рисунка видно, что однозначное восстановление профиля $f(z)$ возможно до глубины z , определяемой приближенным равенством $z/d < 1$, то есть до глубины, на которой $f(z)$ уменьшается примерно в e раз.



1 – график профиля; 2 – результат восстановления при условии $d/\lambda \geq 0,25$

Рис. 1. Результаты восстановления: а – экспоненциального; б – гауссова профилей диэлектрической проницаемости неоднородного слоя на подложке $\epsilon_s = 2,25$

Таким образом, погрешности эллипсометрического метода измерений принципиально ограничивают возможность восстановления профиля диэлектрической проницаемости неоднородного поверхностного слоя.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Карпенко, В. А. Анализ отражения света от неоднородного поверхностного слоя с помощью уравнений связанных волн / В. А. Карпенко, В. Н. Лаптинский, А. А. Романенко // Вес. Нац. акад. наук Беларусі. Сер. фіз.-мат. навук. – 2008. – № 3 – С. 86–93.
2. Карпенко, В. А. К обратной задаче эллипсометрии неоднородных слоев / В.А. Карпенко [и др.] // Известия ГГУ им. Ф.Скорины. – 2011 – № 6 (69). – С. 88–92.

E-mail: romanenko1956@gmail.com

З. М. КОРОТКЕВИЧ
 ГНУ «ИНСТИТУТ ПРИКЛАДНОЙ ФИЗИКИ НАН Беларуси»
 Минск, Беларусь

Инструментальные углеродистые стали, к которым относится и эвтектоидная сталь У8А, характеризуются высокой чувствительностью к перегреву под закалку, проблема неразрушающего контроля которого для данного класса сталей является весьма важной и до настоящего времени в полной мере не решенной.

Особенностью данного класса сталей является узкий интервал закалочных температур. Рекомендательный интервал температур нагрева под закалку для стали У8А, который обеспечивает ее твердость HRC 63-65, лежит в пределах 780–800 °С. Структурное состояние изделий из стали У8А при недогреве под закалку хорошо выявляется по большинству стандартных магнитных характеристик, измеренных в статическом или квазистатическом режимах перемагничивания. Однако перегрев под закалку этой стали выявить по стандартным магнитным характеристикам практически невозможно из-за их низкой чувствительности, либо из-за невозможности отличить структурное состояние металла, перегретого под закалку от недогретого [1].

Для повышения чувствительности и обеспечения однозначности выявления перегрева под закалку стали У8А авторами исследована возможность использования в качестве информативных параметров контроля нескольких магнитных характеристик, измеренных в квазистатическом режиме перемагничивания. При этом необходимо было сохранить достаточную чувствительность информативного параметра к недогреву под закалку и учесть рекомендации, данные в [2], согласно которым от магнитных характеристик, определяемых на кривой намагничивания и имеющих аналоги на предельной петле магнитного гистерезиса и кривой возврата, можно отказаться, поскольку точность их определения существенно зависит от качества размагничивания контролируемых изделий. Принималась во внимание и сложность измерения той или иной магнитной характеристики.

В качестве информативных параметров рассматривали сумму, разность, произведение и частное от деления друг на друга анализируемых величин. Для проведения арифметических операций над разными по физической сущности и по абсолютной величине магнитными характеристиками рассматривались их значения относительно исходного состояния стали. На основе анализа установлено, что контроль качества термообработки стали У8 во всем диапазоне температур нагрева под закалку наиболее оптимален по парамет-

А. В. ХОМЧЕНКО, *А. Б. СОТСКИЙ, И. А. КОРНЕЕВА,
 *С. О. ПАРАШКОВ, Л. И. СОТСКАЯ, А. В. ШУЛЬГА
 ГУ ВПО «БЕЛОРУССКО-РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
 *УО «МОГИЛЕВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
 им. А.А. Кулешова»
 Могилев, Беларусь

Оптический контроль наноразмерных металлических покрытий представляет определенный интерес для микроэлектроники. Одним из методов подобных исследований является ПЭВ-спектроскопия, основанный на обработке угловой зависимости коэффициента отражения светового пучка $R(\alpha)$ при возбуждении плазмонных мод. Для измерения распределения $R(\alpha)$ обычно используется установка, принципиальная схема которой приведена в [1]. При измерении параметров металлических пленок было замечено, что погрешность измерений уменьшается при увеличении толщины буферного слоя, что позволило предложить отказаться от использования призмы связи в установке для волноводной спектроскопии (считая толщину буферного слоя бесконечно большой). В таком случае параметры металлического слоя (комплексный показатель преломления и толщина), толщина которого может составлять 1–2 нм, определяют путем обработки угловой зависимости коэффициента отражения лазерного пучка от поверхности исследуемой структуры. Параметры (комплексный показатель преломления $n = x_2 + ix_3$ и толщина x_1) металлической пленки могут быть определены путем минимизации целевой функции $I = \sum_{j=1}^n [f(x_i, \gamma_j) - R(\gamma_j)]^2$, где $f(x_i, \gamma_j)$ – теоретическая модель коэффициента отражения. Для практической реализации подобных вычислений авторы разработали специальный алгоритм, осуществляющий фильтрацию локальных минимумов целевой функции. Кроме того, был выполнен анализ чувствительности описанных измерений с позиций минимизации погрешности решения обратной задачи. Он показал, что наиболее чувствительны к параметрам металлической пленки волны ТМ поляризации. Эффективность предлагаемого подхода иллюстрирует табл. 1.

Табл. 1. Восстановление параметров титановой пленки на кремнии

Точные значения			Предлагаемый подход			Эллипсометрия		
$x_3, \text{МКМ}$	x_1	x_2	$x_3, \text{МКМ}$	x_1	x_2	$x_3, \text{МКМ}$	x_1	x_2
0,001	2,7	-3,8	0,00120	2,81	-3,14	0,00113	2,71	-3,50
0,01	2,7	-3,8	0,00997	2,69	-3,81	0,0102	2,70	-3,79

В данном примере в качестве $R(\gamma_j)$ использована зависимость, строго рассчитанная в $n=200$ точках на длине волны $\lambda = 633 \text{ нм}$. Для сравнения в

Табл. 2. Результаты расчета риска изготовителя

Распределение неопределенности измерений	Риск потребителя $R_{\text{потр}}$, % при трапециевидном распределении контролируемого параметра с отношением оснований				
	$\beta = 1$	$\beta = 4/5$	$\beta = 2/3$	$\beta = 1/2$	$\beta = 1/3$
Нормальное	0,50	0,64	0,39	0,37	0,37
Треугольное	0,51	0,45	0,41	0,39	0,20
Трапециевидное $\beta = 1/3$	0,51	0,46	0,43	0,41	0,21
Трапециевидное $\beta = 1/2$	0,51	0,47	0,44	0,41	0,21
Трапециевидное $\beta = 2/3$	0,52	0,47	0,44	0,42	0,22
Равновероятное	0,55	0,49	0,46	0,44	0,44

Результаты проведенного исследования показывают, что при трапециевидном распределении контролируемого параметра с отношением оснований $\beta \leq 2/3$, для выбора допустимой погрешности контроля в неотвественных случаях можно использовать тривиальное отношение допустимой погрешности измерений и допуска контролируемого параметра (1), поскольку риск изготовителя не превышает 5 %, при поле допуска равном полю рассеяния с $P = 0,99$.

При трапециевидном распределении контролируемого параметра с $\beta > 2/3$ риск изготовителя превышает 5 % при равновероятном и трапециевидном $\beta = 2/3$ распределениях неопределенности измерений. При равновероятном распределении контролируемого параметра риск изготовителя достигает 8,33 %. В случае если риски превышают установленный приемлемый уровень, следует установить погрешность измерительного контроля меньшую, чем предельно допустимая ($[\Delta] < T/3$), соответствующую приемлемым уровням рисков, и обеспечить её соблюдение, для чего следует разработать более точную методику измерений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Цитович, Б. В.** Выбор методик выполнения измерений для исследования точности технологических процессов. / Б. В. Цитович // Наука и технологии на рубеже XXI века: материалы междунар. науч.-техн. конф. – Минск : «Технопринт». – 2000. – С. 499–504.
2. **Рубичев, Н. А.** Достоверность допускового контроля качества / Н. А. Рубичев, В. Д. Фрумкин. – М. : Изд-во стандартов, 1990. – 172 с.
3. **Маталин, А. А.** Технология машиностроения / А. А. Маталин – СПб : Издательство «Лань», 2008. – 212 с.
4. **Вентцель, Е. С.** Теория вероятностей и ее инженерные приложения / Е. С. Вентцель, Л. А. Овчаров – 2-е изд., стер. – М. : Высшая школа, 2000. – 480 с.
5. **Третьяк, З. Ю.** Оценка рисков изготовителя и потребителя на основе оценивания расширенных неопределенностей при измерительном приемочном контроле / З. Ю. Третьяк // Метрология-2009: сб. докл. междунар. науч.-практ. конф. – Минск, БелГИМ, 2009. – С. 338–340.

E-mail: tretzarina@ya.ru

рам $U_1 = H_c / \mu_{d_m}$ и $U_2 = H_r / \mu_{d_m}$, где H_c – коэрцитивная сила, H_r – релаксационная коэрцитивная сила, μ_{d_m} – максимум дифференциальной магнитной проницаемости. На рис. 1. представлены зависимости этих параметров от температуры $T_{\text{зак}}$ нагрева под закалку.

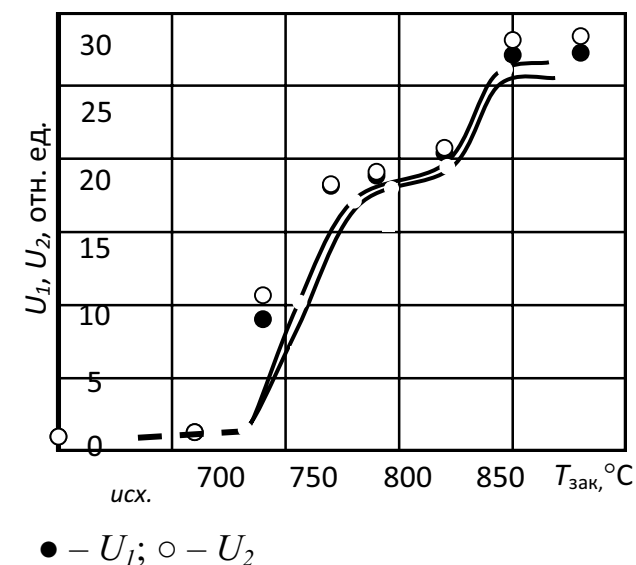


Рис. 1. Графики зависимости информативных параметров от температуры закаливания

Средняя чувствительность этих параметров к температуре нагрева под закалку в диапазоне 740–880 °C составляет: 15,3 %/ C для U_1 ; 15,9 %/ C для U_2 . Кроме того для информативных параметров U_1 и U_2 характерна так же и высокая чувствительность к перегреву под закалку (790–880 °C) которая составляет 9,3 %/ C и 10,3 %/ C соответственно. Чувствительность к недогреву в диапазоне температур 710–790 °C этих же параметров 21,9 %/ C для U_1 и 22,2 %/ C для U_2 .

Таким образом, для неразрушающего контроля температуры нагрева под закалку инструментальной углеродистой стали У8А можно рекомендовать в качестве информативных параметров как частное от деления H_c или H_r на μ_{d_m} .

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Матюк, В. Ф.** Влияние температур закаливания и отпуска на структуру и магнитные свойства инструментальных углеродистых сталей / В. Ф. Матюк [и др.] // Неразрушающий контроль и диагностика. – 2012. – № 1. – С. 25–49.
2. **Горкунов, Э. С.** Магнитный контроль изделий из сталей 7Х3, 9ХФ, 50ХНМ, У10А после низко- и среднетемпературного отпуска / Э. С. Горкунов [и др.] // Дефектоскопия. – 1990. – № 1, С. 70–76.

E-mail: kzm@iaph.bas-net.by

В. Н. КОСТИН, О. Н. ВАСИЛЕНКО
«ИНСТИТУТ ФИЗИКИ МЕТАЛЛОВ УрО РАН»
Екатеринбург, Россия

Экспериментально и моделированием пространственного распределения магнитного поля и потока в цепи "преобразователь-объект" было показано, что появление зазора приводит к ослаблению намагничивания контролируемого объекта не только в межполюсном пространстве П-образного электромагнита, но и вблизи полюсов. При проведении локальных измерений магнитных параметров контроля должны применяться намагничивающие устройства, обеспечивающие предварительное намагничивание контролируемой зоны объекта до технического насыщения, даже при наличии немагнитного зазора в цепи.

На рис. 1 приведены зависимости сигнала приставного преобразователя E_{Bhc} от величины индукции коэрцитивного возврата B_{Hc} образцов из стали 20Н2М, определенные при различных зазорах d в цепи (■ – 0 мм; ● – 0,1 мм; ▲ – 0,19 мм; ▼ – 0,4 мм; ★ – 0,6 мм). Как следует из приведенных данных, появление и рост зазора приводит к снижению измеряемых значений E_{Bhc} и уменьшению угла наклона линии $E_{Bhc}(B_{Hc})$.

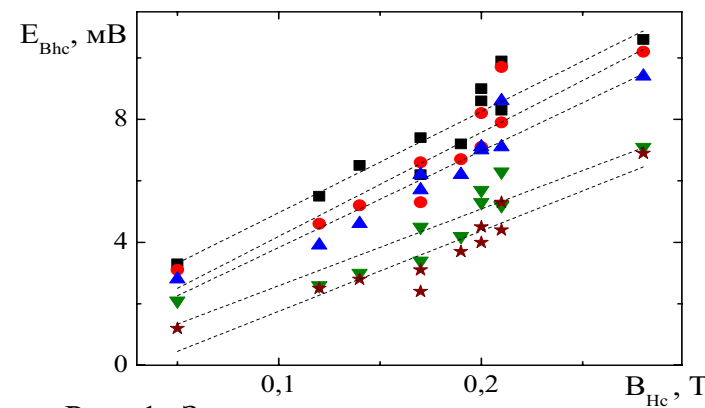


Рис. 1. Зависимость сигнала приставного преобразователя E_{Bhc} от величины индукции

Поскольку величина магнитного потока Φ_{max} , определяемая при фиксированной максимальной величине магнитодвижущей силы, зависит от наличия и величины немагнитного зазора в цепи "преобразователь-объект", то дополнительное измерение этого параметра позволяет существенно уменьшить влияние зазора на результаты измерений [1, 2]. Величина Φ_{max} может быть определена по полю в щели-преобразователе в магнитопроводе электромагнита, причем использование соответствующего параметра $E_{\Phi_{max}}$ возможно для электромагнитов различных типоразмеров.

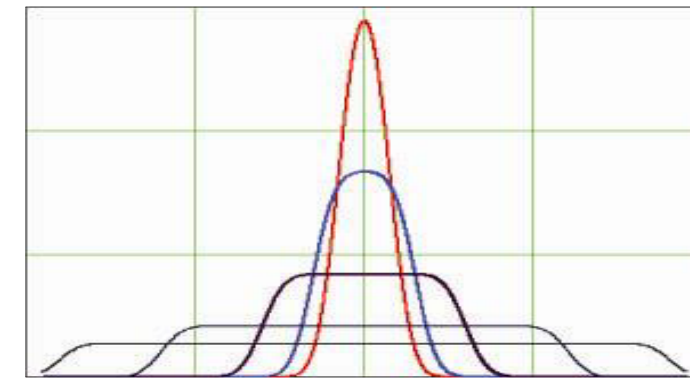


Рис. 2. Вид функции $g(z)$ при различных отношениях полей рассеивания исходных распределений

Риски изготовителя и потребителя для нормального распределения контролируемого параметра при границе неопределённости измерений, принятой равной предельно допустимой погрешности измерений $[\Delta] = T/3$, не превышают 1,5 % [5]. Изменение вида распределения контролируемого параметра при наличии переменных систематических погрешностей увеличивает значения рисков. Были рассчитаны риски изготовителя и потребителя для трапециевидных распределений контролируемого параметра с отношением оснований (верхнего к нижнему) $\beta = 1/2; 1/3; 2/3; 4/5$, а также для равномерного распределения с $\beta = 1$ при $[\Delta] = T/3$.

При неизвестной технологии поле рассеивания контролируемого параметра ω принимается равным полю допуска $T = \omega_p$ с уровнем доверительной вероятности $P=0,99$.

Выбор распределений, характеризующих неопределенность измерений (аналог случайной составляющей погрешности), обусловлен рекомендацией руководства по применению СТБ ИСО/МЭК 17025 "Оценка неопределенности в измерениях". Предложенные аппроксимации включают следующие распределения: нормальное (Гаусса), равновероятное (прямоугольное), треугольное (Симпсона) и трапециевидное.

Табл. 1. Результаты расчёта риска изготовителя

Распределение неопределенности измерений	Риск изготовителя $R_{изг}$, % при трапециевидном распределении контролируемого параметра с отношением оснований				
	$\beta = 1$	$\beta = 4/5$	$\beta = 2/3$	$\beta = 1/2$	$\beta = 1/3$
Нормальное	4,65	3,04	2,26	1,81	1,62
Треугольное	5,56	3,82	2,80	2,18	1,92
Трапециевидное $\beta = 1/3$	6,02	4,20	3,07	2,39	2,11
Трапециевидное $\beta = 1/2$	6,48	4,61	3,39	2,63	2,31
Трапециевидное $\beta = 2/3$	7,04	5,15	3,43	2,95	2,59
Равновероятное	8,33	6,43	4,91	3,80	3,32

от друга случайных причин, обуславливающих распределение размеров по нормальному закону, и переменных систематических погрешностей, возникающих вследствие равномерного износа инструмента и определяющих распределение по закону равной вероятности [3]. В этом случае закон распределения размеров обработанных заготовок можно представить как композицию нормального закона распределения с параметрами (a_0 , σ) и равновероятного, причём последний используют как стохастическую модель отображения систематического смещения центра группирования параметра. Структура поля рассеивания неопределенности обработки изделий (в рамках принятых допущений) представлена на рис. 1.

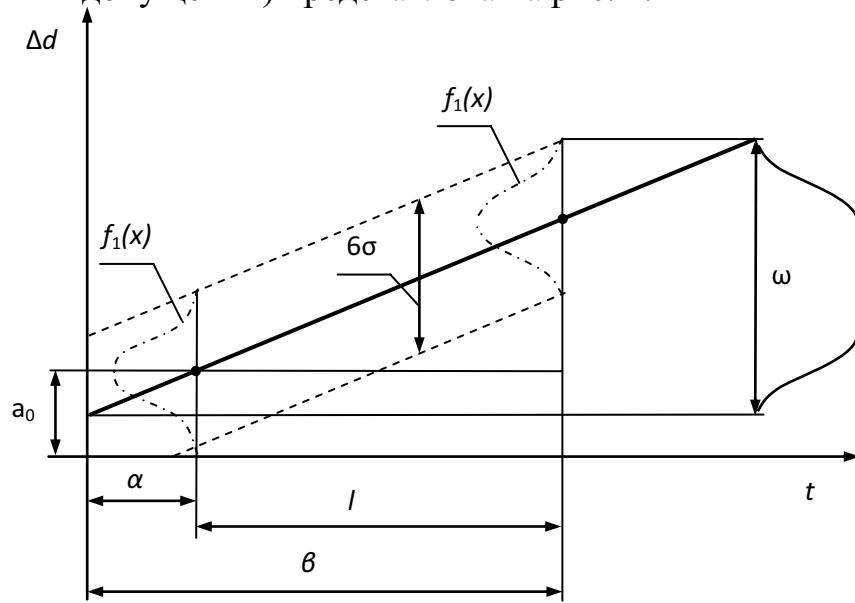


Рис. 1. Структура поля рассеивания неопределенности обработки изделий

Композиция нормального закона $f_1(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-a_0)^2}{2\sigma^2}}$ и равновероятного закона $f_2(y) = \frac{1}{\beta-\alpha}$ при $\alpha < y < \beta$ описывается формулой [4]:

$$g(z) = \frac{1}{\beta-\alpha} \int_{\alpha}^{\beta} \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(y-(z-a_0))^2}{2\sigma^2}} dy, \quad (4)$$

где σ – среднее квадратичное отклонение нормального распределения; a_0 – среднее арифметическое размера в начальный момент времени.

Композиции нормального закона с законом равной вероятности создают кривые различной формы, зависящие от отношения полей рассеивания исходных распределений $\varphi = \frac{\beta-\alpha}{6\sigma}$. На рис. 2 представлено семейство кривых функции $g(z)$ при различных значениях φ .

Все распределения имеют вид от кривой нормального распределения (при $(\beta-\alpha) \rightarrow 0$ и $\varphi \rightarrow 0$) до прямоугольника (распределения равной вероятности при $\varphi = \infty$ и $\sigma \rightarrow \infty$). Промежуточные кривые симметричны, имеют плоские вершины и могут аппроксимироваться трапецевидными распределениями.

Исследования показали, что в некоторых случаях для измерения индукции коэрцитивного возврата B_{Hc} необходимо дополнительно учитывать такие параметры, как значение тангенциальной составляющей поля (E_{Hi}^*) на поверхности контролируемого участка объекта, получающегося после выключения максимального намагничивающего тока, и определенное по внутреннему полю значение коэрцитивной силы (E_{Hc}). Например, для стали 20H2M, заклеенных и отпущенных при различных температурах, учет указанных параметров с помощью регрессионного уравнения позволил повысить коэффициент линейной корреляции от 0,73 до 0,93 и в 2 раза снизить среднеквадратичное отклонение:

$$B_{Hc} = 0,35 + 0,029 E_{Bhc} - 0,00042 E_{Hc} - 0,0029 E_{\Phi_{max}} - 0,00038 E_{Hi}^* . \quad (1)$$

Типоразмеры контролируемых объектов и неконтролируемые вариации зазора в составной цепи преобразователь-объект оказывают значительное влияние на локальные измерения и других магнитных свойств. Одним из наиболее распространенных параметров магнитной структуроскопии, подверженных такому влиянию, является коэрцитивная сила.

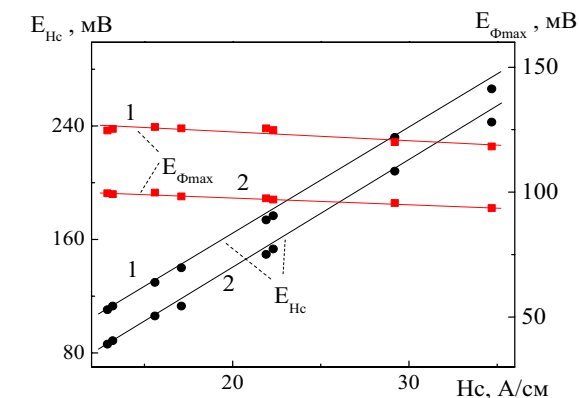


Рис. 2. Зависимость измеренных с помощью приставного преобразователя характеристик E_{Hc} и $E_{\Phi_{max}}$ от коэрцитивной силы закаленных и отпущенных при различных температурах образцов

На рис. 2 представлены зависимости измеренных с помощью приставного преобразователя характеристик E_{Hc} и $E_{\Phi_{max}}$ от коэрцитивной силы закаленных и отпущенных при различных температурах образцов из стали 7X3. Линии 1 и 2 получены при $d=0$ и $d=0,5$ мм соответственно. Коэффициент множественной корреляции определения коэрцитивной силы с учетом параметра $E_{\Phi_{max}}$ составил $R=0,99$, при этом погрешность оказалась в 5 раз меньше, чем при однопараметровых измерениях.

На рис. 3 приведены зависимости локально измеренных с помощью П-образного преобразователя сигналов E_{Hc} и E_{Hi}^* от коэрцитивной силы объектов различной ширины и высоты ($a \times b$, мм): \blacktriangle – 33,8x7,5 мм; \bullet – 8,9x8,9 мм; \blacksquare – 5x10 мм; \square – 3,9x10,1мм. Из рис. 3, а видно, что одно и то же значение измеряемой величины E_{Hc} может соответствовать различным значениям ко-

эрцитивной силы (разброс от 3 до 15 А/см). Обусловленная различием формы контролируемых объектов среднеквадратичная погрешность определения коэрцитивной силы по одному параметру E_{Hc} составляет 4,2 А/см.

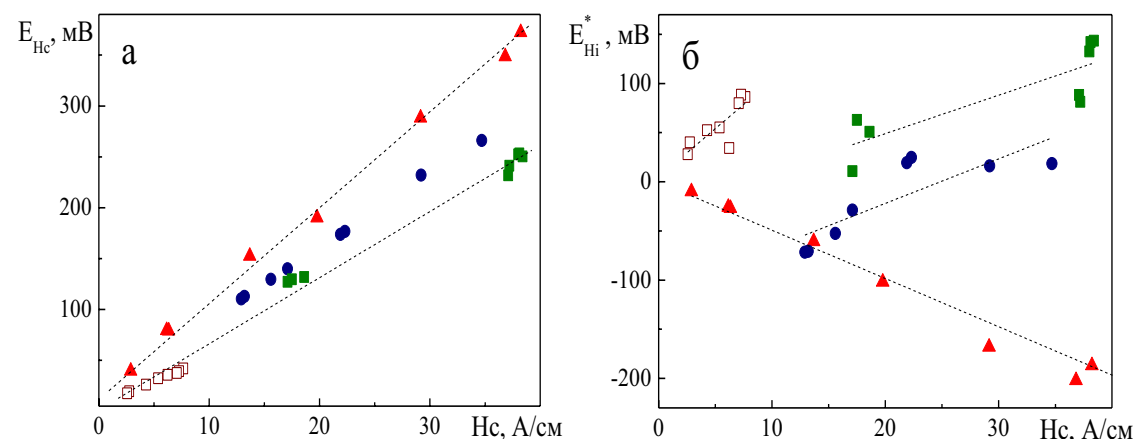


Рис. 3. Зависимость локально измеренных с помощью П-образного преобразователя сигналов E_{Hc} и $E_{H_i}^*$ от коэрцитивной силы объектов

Как видно из рис. 3, б, дополнительно измеряемый сигнал $E_{H_i}^*$ для каждого из типоразмеров образцов коррелирует с коэрцитивной силой, однако, значения сигнала и характер корреляции $E_{H_i}^*(H_c)$ зависят от формы и размеров образцов. Для показанной на рис. 3 выборки, учет величины $E_{H_i}^*$ уменьшает связанную с вариацией формы образцов среднеквадратичную погрешность определения коэрцитивной силы до 1,5 А/см, т. е. почти в 3 раза в сравнении с однопараметровыми измерениями.

Таким образом, установлено, что дополнительное измерение параметров Φ_{max} и H_i^* позволяют существенно снизить влияния зазора и формы контролируемых объектов на результаты локального измерения их коэрцитивной силы и индукции коэрцитивного возврата, обеспечивая возможность локального измерения абсолютной величины коэрцитивной силы и индукции коэрцитивного возврата ферромагнитных объектов [1, 2]. Установленные дополнительные параметры могут быть использованы для корректировки локальных измерений и других магнитных свойств.

Работа выполнена при поддержке грантов 11-2-02-СГ и 12-П-2-1031.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Костин, В. Н. О некоторых новых возможностях локального измерения коэрцитивной силы ферромагнитных объектов / В. Н. Костин, О. Н. Василенко // Дефектоскопия. – 2012. – № 7.

2. Костин, В. Н. Локальное измерение индукции коэрцитивного возврата при наличии зазора в составной цепи «преобразователь-объект» / В. Н. Костин, О. Н. Василенко // Дефектоскопия – 2012. – № 7.

E-mail: kostin@imp.uran.ru

УДК 006

ВЫБОР ДОПУСТИМОЙ ПОГРЕШНОСТИ ИЗМЕРИТЕЛЬНОГО КОНТРОЛЯ ПРИ ТРАПЕЦИЕВИДНОМ РАСПРЕДЕЛЕНИИ КОНТРОЛИРУЕМОГО ПАРАМЕТРА

З. Ю. ТРЕТЬЯК

УО «БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

ТРАНСПОРТА»

Гомель, Беларусь

Критериями качества процессов контроля продукции являются показатели достоверности или вероятности ошибок контроля. На стадии измерительного контроля, значение терминов "в пределах зоны спецификации" и "вне зоны спецификации" усложняется существующей неопределенностью измерения, что приводит к появлению риска изготовителя – признание (по результатам контроля) в действительности годного изделия негодным (дефектным) и риска потребителя – признание в действительности негодного изделия годным. Поскольку риски изготовителя и потребителя зависят от значения неопределенности измерения, допустимую погрешность измерений можно оценивать с позиций вероятности пропуска брака и забракования годных объектов.

Традиционно для случая приемочного контроля объекта по заданному параметру, если заданы два его предельных значения, за допустимую погрешность измерений традиционно принимают такую, которая не превышает 1/3 части допуска (Т) параметра [1]:

$$[\Delta] \leq T/3, \quad (1)$$

где $[\Delta]$ – пренебрежимо малая неопределенность измерений, которую принимают за предел допустимой погрешности измерений; Т – допуск параметра, равный разности между двумя его нормированными предельными значениями: наибольшим (USL) и наименьшим (LSL)

$$T = USL - LSL. \quad (2)$$

Формулы для расчета средних рисков изготовителя и потребителя предложены Рубичевым и Фрумкиным [2]:

$$R_{\text{потр}} = 1 - \frac{\int_{-L}^{+U} \int_{L}^{U} k(z)q(y-z)dydz}{\int_{-\infty}^{+\infty} \int_{L}^{U} k(z)q(y-z)dydz}, \quad R_{\text{изг}} = 1 - \frac{\int_{L}^{U} \int_{L}^{U} k(z)q(y-z)dydz}{\int_{L}^{U} k(z)dz}, \quad (3)$$

где k – плотность вероятности контролируемого параметра, z – значение контролируемого параметра, q – плотность вероятности неопределенности измерения, y – конкретное значение результата измерения для данного экземпляра изделия, для которого рассчитывается индивидуальный риск.

В большинстве случаев механической обработки точность размеров деталей зависит от большого числа близких по величине и независимых друг

линейная скорость роликов находилась в пределах 0,15–0,3 м/с; частота вращения нижнего ролика – 255 об/мин, верхнего ролика – 210 об/мин; нагрузка на ролики изменялась от 50 до 175 Н; время испытаний каждой пары роликов составило в среднем 20 часов. Ширину дорожки износа измеряем на микроскопе ПМТ-3 с точностью $\pm 0,005$ мм.

Для оценки погрешности экспериментального определения дорожки износа была решена задача для случая эллиптической площадки контакта с соответствующими размерами упругих тел бочкообразной формы. Установлено, что погрешность результатов эксперимента не превышает 7 %.

Интенсивность изнашивания роликов в случае их качения с проскальзыванием можно определить по формуле [2]:

$$I = K \cdot p(x, y)^\alpha \cdot \left| \frac{V_1(x, y)}{V_2(x, y)} - 1 \right|^\beta, \quad (1)$$

где K , α , β – коэффициент изнашивания и показатели степени, зависящие от условий проведения эксперимента; $V_1(x, y)$, $V_2(x, y)$ – значения линейной скорости первого и второго ролика в рассматриваемой точке на площадке контакта.

В результате математической обработки результатов экспериментальных исследований получаем следующее выражение для определения интенсивности изнашивания:

$$I = 0,233 \cdot 10^{-14} \cdot p(x, y)^{0,621} \cdot \left| \frac{V_1(x, y)}{V_2(x, y)} - 1 \right|^{0,399}, \quad (2)$$

которое справедливо для рассмотренных выше условий проведения эксперимента.

Таким образом, предлагаемая методика экспериментального определения параметров степенной зависимости интенсивности изнашивания контактирующих тел, позволяет с достаточной для инженерной практики степенью точности определять интенсивность изнашивания элементов высших кинематических пар.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Часовников, Л. Д. Передачи зацеплением (зубчатые и червячные) / Л. Д. Часовников. – 2-е изд. перераб. и доп. – М. : Машиностроение. – 1969. – 486 с.
2. Бородачев, Н. М. Решение задачи Герца с учетом изнашивания / Н. М. Бородачев, Г. П. Тариков, В. В. Комраков // Трение и износ. – 2003. – Т. 24. - № 6. – С. 16–24.

E-mail: msf_vdos@mail.ru

УДК 621.658.011 ИЗМЕРЕНИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ВЕЛИЧИНЫ ДВУЛУЧЕПРЕЛОМЛЕНИЯ В ПЛОСКОСТИ АВТОМОБИЛЬНЫХ ЗАКАЛЕННЫХ СТЕКОЛ

В. М. КУЛЬБЕНКОВ, *А. В. ХОМЧЕНКО, А. И. ВОЙТЕНКОВ,
*О. Е. КОВАЛЕНКО, *В. Г. ГУЗОВСКИЙ, *А. В. ШУЛЬГА, *А. В. ЗАЙЦЕВ
УЧПП «КУВО»

*ГУ ВПО «БЕЛОРУССКО-РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
Могилев, Беларусь

Остаточные напряжения обуславливают механическую прочность закаленного стекла и обеспечивают его безопасную эксплуатацию в автомобиле. Для их контроля традиционно применяются поляризационно-оптические методы исследования возникающего двулучепреломления. Однако применение такого подхода для количественной оценки напряжений ограничивается тем, что наблюдаемые распределения интенсивности включает в себя систему темных линий, так называемых изоклин:

$$I_1(x, y) = I_p T \sin^2[2\alpha(x, y)] \sin^2 \frac{\delta(x, y)}{2},$$

где I_p – интенсивность света на выходе из поляризатора; T – коэффициент; учитывающий отражение света от поверхностей стекла; α – угол между оптической осью и углом поляризатора; δ – разность фаз между обыкновенной и необыкновенной волнами.

Положение изоклин определяется распределением $\alpha = \alpha(x, y)$ в стекле (при $\alpha = 0$ или $\alpha = \pi/2$ величина $I = 0$, даже если напряжения отличны от нуля) и искажают восстанавливаемую картину напряжений. Известные способы позволяют избавиться от изоклин только в отдельных точках, либо небольших областях восстанавливаемой картины [1] и требуют использования специальных компенсаторов, что существенно усложняет контроль напряжений в широкоформатных стеклах [2].

Авторами предложена процедура фильтрации изоклин, которая проста в реализации и может быть применена для стекол различного размера. Исследуемое распределение интенсивности прошедшего света I_1 и I_2 измеряют для двух ориентаций системы «поляризатор – анализатор» относительно образца (рис. 1): для произвольной ориентации I_1 и после поворота на угол 45° (рис. 2)

$$I_2(x, y) = I_p T \cos^2[2\alpha(x, y)] \sin^2 \frac{\delta(x, y)}{2}.$$

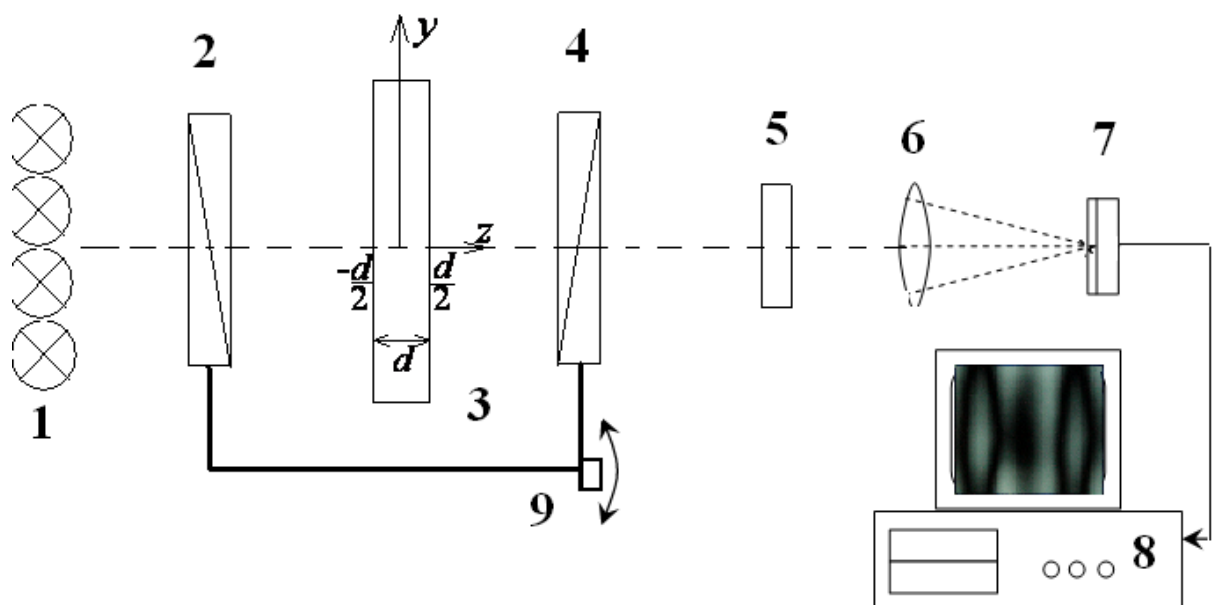


Рис. 1. Схема измерительной установки

При этом переход из начального положения, которое выбирают произвольно, во второе осуществляют путем синхронного поворота системы «поляризатор–анализатор» (2 и 4) на угол равный 45° , а поляризатор и анализатор в обоих положениях остаются ориентированными под углом 90° относительно друг друга. Затем в каждой точке образца вычисляют суммарную интенсивность

$$I(x, y) = I_1 + I_2 = I_p T \sin^2 \frac{\delta(x, y)}{2}.$$

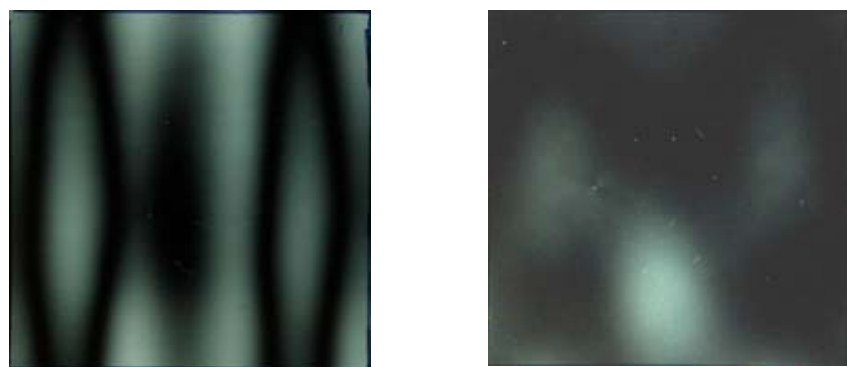


Рис. 2. Распределение интенсивности прошедшего света I_1 и I_2 для двух ориентаций системы «поляризатор–анализатор» относительно образца

Полученная функция $I(x, y) = I_1 + I_2$ не зависит от распределения $\alpha(x, y)$ и величину двулучепреломления $\Delta(x, y)$ в каждой точке образца определяют из выражения:

УДК 539.375
МЕТОД ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ ИНТЕНСИВНОСТИ
ИЗНАШИВАНИЯ МАТЕРИАЛОВ ЗУБЧАТЫХ КОЛЕС

Г. П. ТАРИКОВ, Ю. Е. КИРПИЧЕНКО, В. В. КОМРАКОВ
УО «ГОМЕЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ им. П. О. Сухого»
Гомель, Беларусь

Известно, что в любой точке линии зацепления зубчатых колес (кроме полюса зацепления) происходит качение с проскальзыванием [1]. При этом скорость скольжения изменяется от нулевого значения в полюсе зацепления до некоторого предельного значения в начальной и конечной точках зацепления. При проведении исследований по определению интенсивности износа зубьев зубчатых колес обычно применяют ролики, изготовленные из того же материала. Для проведения экспериментальных исследований были взяты бочкообразные ролики различных радиусов и с различными радиусами бочкообразной образующей. В этом случае имеем первоначальный точечный контакт, который при приложении силы P переходит в эллиптическую площадку контакта, большая и малая полуоси которой обозначаем через a и b соответственно.

Перед началом испытаний на износ, бочкообразные поверхности роликов подвергаем тонировке. Во время вращения роликов, площадки контакта занимают ряд положений на бочкообразных поверхностях роликов, которые выстраиваются в дорожку шириной $2a$. Будем называть ее дорожкой износа. На этой дорожке во время испытаний происходит удаление тонировки и износ роликов. Точки с максимальной величиной износа располагаются в центре дорожки, по краям дорожки износ равен нулю.

Для определения интенсивности износа необходимо установить закономерность изменения размеров роликов в результате износа.

Известно [2], что при изнашивании роликов значения радиусов образующих увеличиваются, а значения радиусов роликов незначительно уменьшаются. Такое изменение радиусов приводит к увеличению a . Меньшая полуось эллиптической площадки контакта b увеличивается незначительно. По изменению большей полуоси эллиптической площадки контакта определяем величину износа на площадке контакта и определяем новые геометрические параметры контактирующих поверхностей. Процесс изнашивания роликов во времени рассматриваем дискретно, замеряя через равные промежутки времени ширину дорожки износа.

Для проведения экспериментов были изготовлены ролики из стали 45. Испытания роликов проводились на машине трения СМТ-1 по схеме контакта ролик-ролик качение с проскальзыванием. Во время испытаний применялась смазка окунанием нижнего ролика в емкость с маслом И-40. При этом

частоте, с имеющейся в базе данных информацией. За основу предлагается взять информацию, полученную на абсолютном и дифференциальном канале 25 кГц. Используя сочетание трёх параметров, а именно фазы сигнала на абсолютном и дифференциальном канале, а также амплитуды на абсолютном канале, можно получить данные о протяженности, толщине и составе отложения. Требуется создание базы данных, содержащей информацию о параметрах отложения и его состава, а также критерия нарушения процесса отвода тепла при наличии объёма отложений, превосходящего установленную норму.

Стоит также решить вопрос о разработке калибровочных трубок для каждой атомной электростанции. Это объясняется тем, что на каждой станции используют различные по содержанию добавки при проведении химических отмывок с целью предотвращения или замедления коррозии, что приводит к различному химическому составу отложения на конкретной станции.

Основными мешающими факторами при определении параметров отложений являются: наличие конструктивных элементов рядом с отложением, зашумлённость получаемого сигнала. При расположении отложения вблизи дистанционирующей решётки изменяются амплитуда и фаза сигнала. Изменения становятся тем больше, чем выше содержание CuO в отложении. Наличие гибов приводит к искажению траектории движения датчика, из-за этого отложение в районегиба определить невозможно.

В ближайшие годы актуальность контроля отложений на внешней поверхности теплообменных труб АЭС будет возрастать по причине запуска новых станций и увеличения доли атомной энергетики в России и мире. Ключевой задачей становится разработка соответствующего программного обеспечения для проведения автоматизированной обработки сигналов, для улучшения качества и увеличения скорости процедуры вихретокового контроля трубного пучка.

E-mail: neron-neronov@mail.ru

$$\Delta(x, y) = \frac{\arcsin[(I/I_p T)^{1/2}]}{\pi d} \lambda,$$

где λ – длина волны излучения, d – толщина исследуемого образца.

Учитывая взаимосвязь фазы волны с напряжениями можно воспроизвести поле механических напряжений [2].

На рис. 3 приведено распределение интенсивности $I(x, y)$ света, полученное наложением распределений $I_1(x, y)$ и $I_2(x, y)$, и наложенная на него картина разбитого исследуемого стекла.

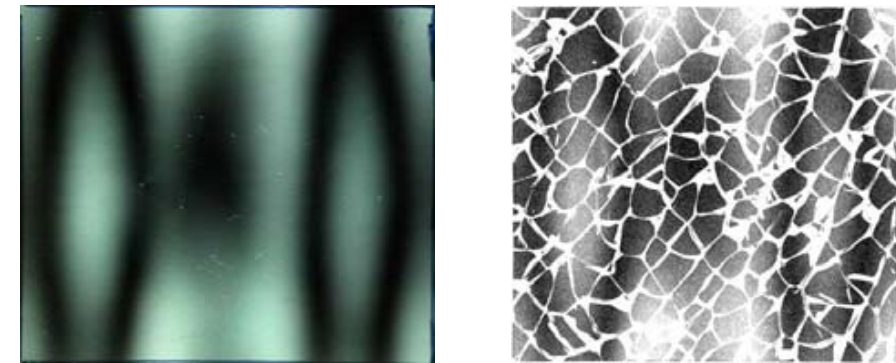


Рис. 3. Распределение интенсивности $I(x, y)$ света и наложенная на него картина разбитого исследуемого стекла

В стандартной схеме оценки величины механических напряжений используется именно картина разбиения стекла. При этом в области больших значений напряжений (а, следовательно, и величины $\Delta(x, y)$) регистрируются более мелкие куски разбитого стекла.

Таким образом, измеряя распределение интенсивности света можно анализировать и оценивать величину механических напряжений, возникающих в отдельных точках стекла.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Константинова, А. Ф.** Оптические свойства кристаллов / А. Ф. Константинова [и др.]. – Минск : Наука и техника. – 1995. – С. 88–94.
2. **Миндлин, Р.** Изучение напряжений методом фотоупругости / Р. Миндлин. – УФН. – 1940. – Т. 23 – № 1. – С. 16–66.

E-mail: avkh@mogilev.by

УДК 620.1.05

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЧНОСТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК
КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ
МНОГОКРАТНОГО ИЗГИБА

Ю. С. ЛИСОВЕНКО, Е. А. ИБЕРЗОВА, И. А. ПЕТЮЛЬ, *К. С. МАТВЕЕВ
УО «ВИТЕБСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ

УНИВЕРСИТЕТ»

*ГОСУДАРСТВЕННОЕ ПРЕДПРИЯТИЕ «НТПВГТУ»

Витебск, Беларусь

Испытания полимерных композиционных материалов на многократный изгиб позволяют получить достоверную информацию об их поведении при долговременной эксплуатации. Одним из наиболее эффективных типов оборудования для обеспечения таких испытаний являются машины ременного типа. Принципиальная схема проведения испытаний с помощью машины ременного типа показана на рис. 1. Предварительно подготовленные образцы из полимерных или резиновых материалов приклеивают или пришивают к замкнутому ремню. Ремень надевают на два ролика и обеспечивают его натяжение. Большой ролик является приводным, он обеспечивает вращение и его диаметр не изменяется. Размеры меньшего ролика являются сменными и его диаметр выбирается исходя из свойств испытываемого материала и интенсивности проведения испытаний.

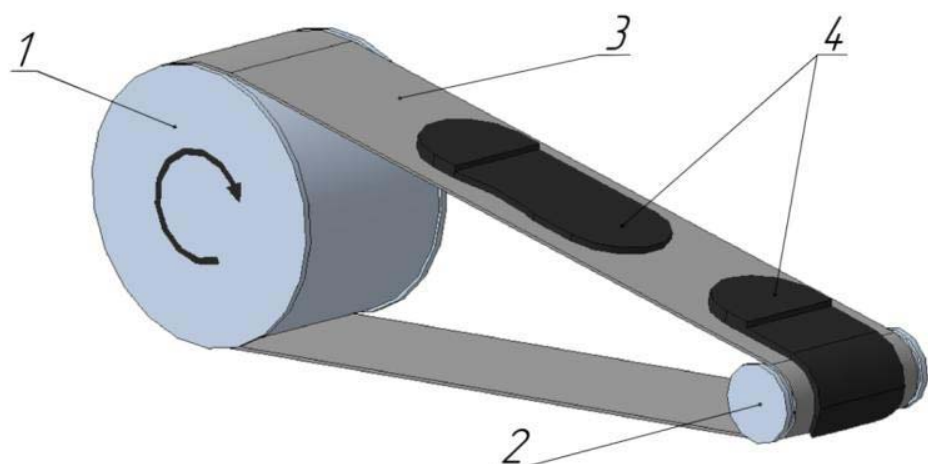


Рис. 1. Принцип действия ременной машины: 1 – ролик ведущий; 2 – ролик ведомый; 3 – ремень; 4 – испытываемые образцы

При принудительном вращении большого ролика, ремень перемещается и, при прохождении ремня через ролики, образцы подвергаются изгибу. Частоту вращения большого ролика устанавливают из расчета обеспечения 90 циклов изгиба в минуту.

Испытания проводят с периодическим осмотром образцов после достижения ими 5, 10, 20, 30, 40, 50 тысяч изгибов. Иногда испытания продолжа-

На основании исследований были сделаны следующие выводы.

Возможна оценка параметров отложений, содержащих не менее пятидесяти процентов магнитного оксида Fe_3O_4 . В противном случае сигнал, получаемый от датчика, оказывается сильно искажённым и с малой величиной амплитуды. Параметры немагнитных отложений меди CuO и железа Fe_2O_3 определить вихретоковым методом контроля представляется крайне сложным из-за слишком малого значения наводимого напряжения на датчике.

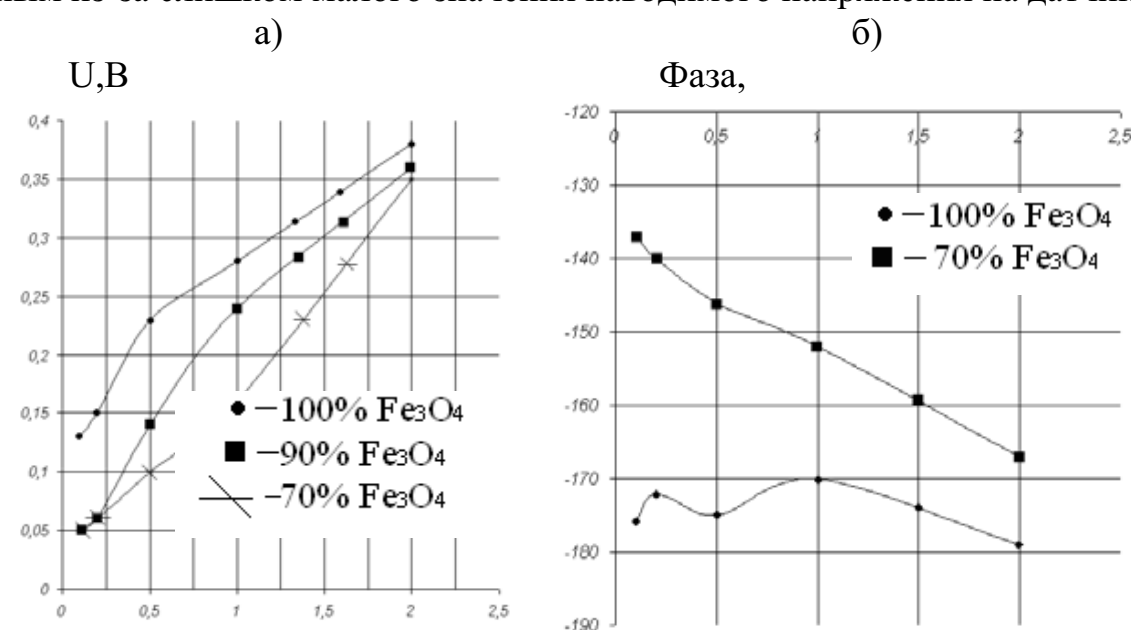


Рис. 2. Зависимость амплитуды (а) и фазы (б) отложения от его толщины при различном содержании Fe_3O_4

При изменении содержания немагнитного оксида CuO в отложении происходит как изменение амплитуды сигнала (чем больше содержание CuO , тем меньше амплитуда), так и изменение наклона годографа к действительной оси (фазы сигнала). Стоит отметить, что влияние немагнитного оксида железа выглядит также. Контроль отложений малой толщины (0,1 мм и 0,2 мм) возможен лишь с большой погрешностью, особенно при содержании немагнитной составляющей свыше двадцати процентов, из-за сильной искажённости получаемого дифференциального или абсолютного сигнала. При этом фаза может принять и положительные значения, хотя в модельном эксперименте фаза сигнала от отложения на дифференциальном и абсолютном каналах является отрицательной при различных значениях протяжённости, толщины отложения, а также содержания оксида меди.

Амплитуда сигнала меняется как при изменении содержания немагнитной доли в отложении, так и при различии в толщине отложений на внешней поверхности теплообменных труб.

Определить объём и состав отложений можно, используя амплитудно-фазовый критерий оценки. Он заключается в сопоставлении фаз и амплитуд, полученных абсолютного и дифференциального сигналов на определённой

А. А. СТОЛЯРОВ

«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ «МЭИ»

Москва, Россия

Работа посвящена поиску способов определения параметров отложений, образующихся на внешней поверхности теплообменных труб парогенераторов АЭС, при проведении вихретокового контроля внутренним проходным параметрическим датчиком. Наличие отложений непосредственно влияет на отвод тепла, причём увеличение объёма отложений резко ухудшает теплопередачу. В связи с износом трубного пучка за последние десять лет на российских атомных станциях задача определения параметров отложений (главным образом, протяжённости, толщины и состава), непосредственно связанная с необходимостью принятия решения о глушении определённых трубок, стала актуальной из-за важности точного прогнозирования работы оборудования и периодичности проведения мониторинга (остановка реактора приводит к многомиллионным потерям).

В работе было применено моделирование процедуры контроля отложений на стенках теплообменных труб с помощью программы COMSOL методом конечных элементов и были получены сигналы от отложений с различными значениями протяжённости, толщины и химического состава. Был проведён модельный эксперимент по оценке влияния параметров отложений на сигнал дифференциального датчика. Полученные сигналы были сопоставлены с реальными сигналами, полученными на атомных электростанциях. К наиболее чувствительным параметрам сигнала были отнесены фаза и амплитуда абсолютного сигнала на 25 кГц, а также фаза дифференциального сигнала на той же частоте (рис. 1).

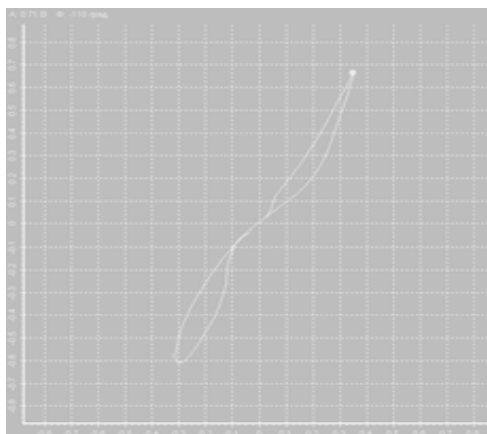


Рис. 1. Годограф сигнала от отложения на частоте 25 кГц

ют до 100 тысяч циклов, с периодичностью осмотров через 10 тысяч изгибов.

Большинство методик проведения испытаний предусматривают проведение испытаний до 30 тысяч циклов. Отсутствие разрушений в течение данного промежутка времени позволяет считать, что испытываемый материал выдержал испытания.

Действительно, практика использования эластичных материалов, подвергаемых многократному изгибу в процессе эксплуатации, показывает, что образование трещин, изломов и разрушение образцов происходят в течение 10–15 тыс. циклов. Если этого не произошло, то материал далее продолжает служить без разрушения.

Эти устройства позволяют осуществлять изгиб образца и воспроизводить условия испытания, аналогичные реальной эксплуатации.

Целью данной работы являлось определение оптимального режима работы испытательной установки ременного типа и разработка методики проведения испытаний.

При проведении испытаний на машинах ременного типа оценка материалов осуществляется путем визуального фиксирования появления или разрастания трещин, образующихся в процессе многократного изгиба. Поскольку данный параметр является субъективным, в процессе проведения эксперимента было решено использовать критерий оценки, дающий более объективный результат. Таким критерием могут являться прочностные характеристики материалов. Поэтому исследуемые образцы подвергались испытаниям на разрыв по методике, определяемой ГОСТ 270 75 "Резина. Метод определения упругопрочностных свойств при растяжении".

Для проведения исследований было отобрано три типа композиционных материалов.

Первый тип материалов относится к широко применяемым резинотехническим пористым композициям. Материал отличается хорошей однородностью и равномерной пористостью.

Второй тип материалов относится к композициям, полученным из отходов синтетических кож с полимерным поливинилхлоридным покрытием. Синтетическая полиамидная основа является наполнителем подобных материалов. Содержание наполнителя составляет 30 % масс.

Третий тип материалов так же относится к композициям, полученным из отходов и представляет собой продукт переработки текстильных дублированных материалов с поливинилхлоридным покрытием. Содержание наполнителя оставляет 60 % масс.

Испытания проводились следующим образом. Из листа композиционного материала выкраивались образцы, которые пришивались к испытательному ремню. Ремень устанавливался на испытательном стенде и после прохождения 2 тыс. циклов снимались образцы, которые далее подвергались

разрыву с целью определения предела прочности. Результаты испытаний показаны на рис. 2.

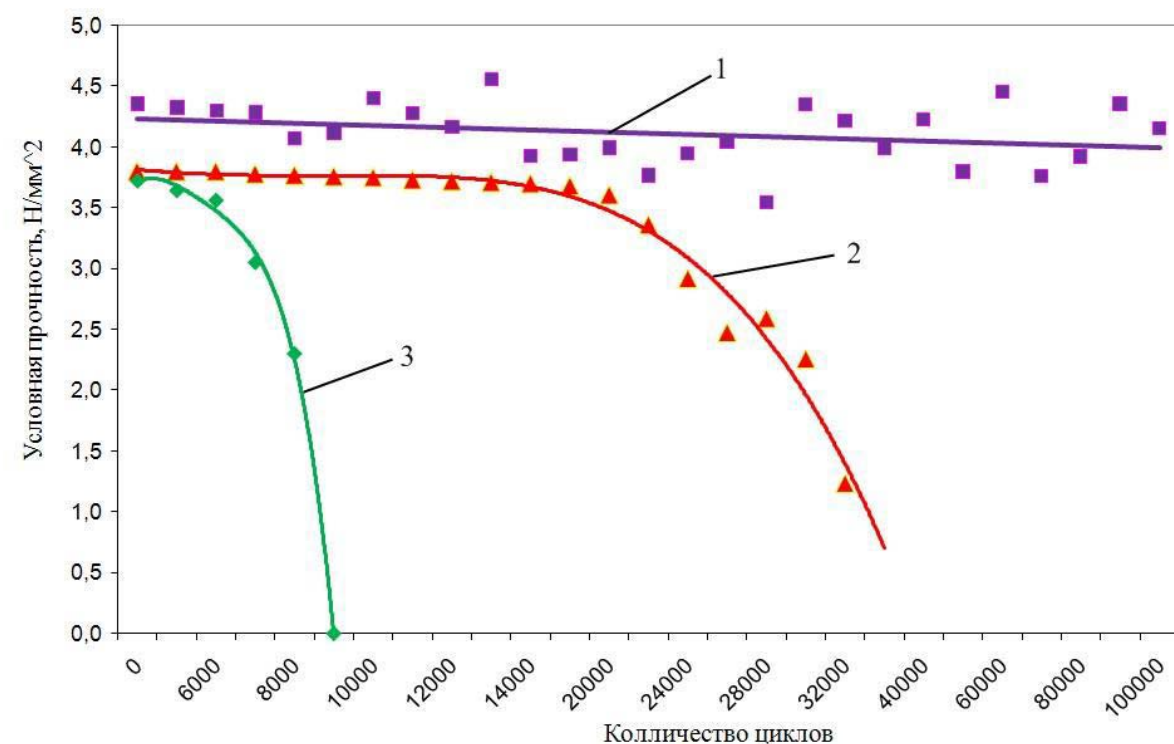


Рис. 2. Графики зависимости прочностных характеристик композиционных материалов

Как видно из полученных графиков, материал 1 выдержал проведение испытаний до 100 тыс. циклов при незначительном снижении прочностных характеристик.

Что же касается материалов 2 и 3, то эти материалы не прошли испытания, но что характерно, падение прочности для материала 2 начинается примерно с 15 тыс. циклов. Для материала 3 это снижение определяется 6 тыс. циклов. Можно предположить, что указанные низкие прочностные характеристики связаны с наличием большого процента наполнителя, который и вызывает разрушение материала.

Таким образом, в результате проведенных испытаний, получено, что многократные цикловые изгибающие нагрузки действительно вызывают разрушение материала, вызванное наличием дефектов структуры, в течение первых 10–30 тыс. циклов. Если в указанном диапазоне разрушения не произошло, материал пригоден к использованию. Поэтому указанный диапазон можно внести в методику проведения испытаний как рекомендуемую для выдачи заключения о пригодности материалов к использованию.

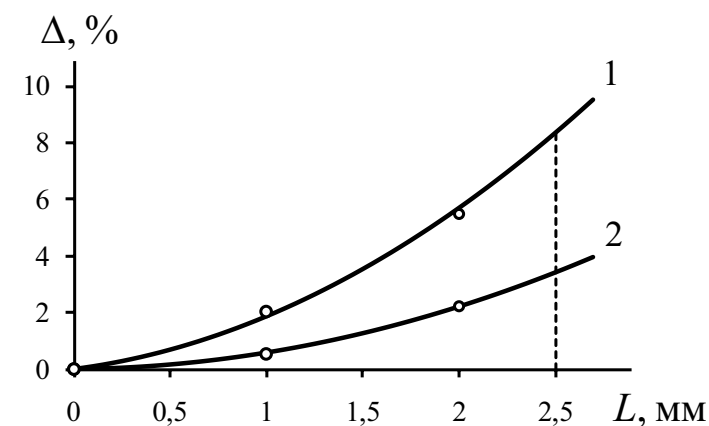


Рис. 3. Зависимость Δ от L после настройки нуля, выполненной при расположении центра преобразователя над серединой паза: 1 – кривая, соответствующая никелевой пластине толщиной 146 мкм; 2 – 361 мкм

Видно, что предварительная настройка нуля полностью решает проблему, обусловленную технологическими пазами. Эффективность настройки обеспечивается при условии, что центр преобразователя не смещается в горизонтальном направлении от середины паза на расстояние более 2,5 мм, т. е. находится в любой точке участка покрытия, условно ограниченного боковыми стенками паза. При выполнении этого условия обусловленная пазом дополнительная погрешность не превышает ~8 % даже при минимальной толщине покрытия, поэтому над пазом будет обеспечиваться такая же высокая точность контроля, как и на остальных участках камеры.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лухвич, А. А. Обоснование методик и выбора характеристик магнитодинамических преобразователей контроля никелевых покрытий камер сгорания ракетных двигателей / А. А. Лухвич, О. В. Булатов, А. Л. Лукьянов // 5-й Белорусский космический конгресс: материалы, Минск, 25-27 октября 2011 г.: в 2 т. – Минск: ОИПИ НАН Беларуси, 2011. – Т. 1. – С. 50–54.
2. Булатов, О. В. Магнитодинамические преобразователи для отдельного контроля толщины хромоникелевых покрытий / О. В. Булатов // Приборостроение-2009: материалы 2-й междунар. науч.-техн. конф. Минск, 11–13 ноября 2009 г. – Минск: БНТУ, 2009. – С. 45–46.

E-mail: lab1@iaph.bas-net.by

размерами 5x5 мм, прослойки – неферромагнитная пластина толщиной 2,72 мм, покрытия – никелевые пластины, толщина которых имела значения, близкие к предельным для участка камеры с пазом (примерно от 150 до 350 мкм). Перед измерениями на той же неферромагнитной пластине, наложенной на аналогичное основание без паза, была выполнена настройка нуля, исключая влияние ферромагнетика на показания прибора. При измерениях преобразователь располагался на разном расстоянии L между его центром и серединой паза. По результатам измерений была определена обусловленная пазом дополнительная погрешность, которая в виде функции $\Delta = f(L)$ представлена на рис. 2; пунктирной прямой отмечено положение одной из боковых стенок паза.

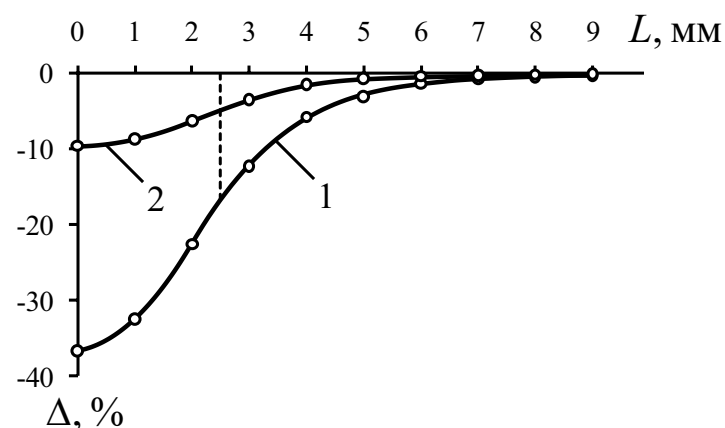


Рис. 2. Зависимость обусловленной пазом дополнительной погрешности Δ от расстояния L между серединой паза и центром преобразователя после настройки нуля, выполненной над сплошным ферромагнетиком: 1 – кривая, соответствующая никелевой пластине толщиной 146 мкм; 2 – 361 мкм

Как и следовало ожидать, влияние паза, по мере смещения преобразователя в сторону от него, постепенно исчезает; видно, что уровень Δ снижается также с ростом толщины покрытия (здесь оно является магнитным экраном, компенсирующим влияние паза пропорционально своей толщине). Несмотря на это, даже при максимальной толщине покрытия Δ над серединой паза составляет ~10 %; следовательно, влияние паза необходимо компенсировать.

Методика компенсации состоит в том, что до нанесения покрытия следует установить преобразователь на прослойку камеры так, чтобы его центр располагался непосредственно над серединой паза, измерить обусловленный корпусом сигнал и занести его в память прибора. После нанесения покрытия, при контроле его толщины над пазом, программное обеспечение прибора будет автоматически корректировать показания с учетом величины названного сигнала, что обеспечит высокую точность измерений. Сказанное подтверждается рис. 3, который показывает как меняется Δ при такой настройке нуля.

УДК 620.179.14

ПОВЫШЕНИЕ ДОСТОВЕРНОСТИ КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА ТЕРМООБРАБОТКИ МАЛОГАБАРИТНЫХ ИЗДЕЛИЙ ИЗ КОНСТРУКЦИОННЫХ СРЕДНЕУГЛЕРОДИСТЫХ СТАЛЕЙ

В. Ф. МАТЮК

ГНУ «ИНСТИТУТ ПРИКЛАДНОЙ ФИЗИКИ НАН Беларуси»

Минск, Беларусь

Среди материалов, применяемых в машиностроении, большой удельный вес составляют конструкционные среднеуглеродистые стали, изделия из которых подвергаются для получения требуемых механических свойств закалке с последующим отпуском. Для неразрушающего контроля их структурного состояния, после проведенной термообработки, широко используются магнитные методы.

Основным ограничением магнитных методов применительно к контролю изделий из данного класса сталей является неоднозначность между измеряемым магнитным параметром и температурой отпуска. Для устранения этого ограничения измерение магнитного состояния, предварительно намагниченного изделия, проводят после его частичного размагничивания [1]. При этом достоверность контроля по данной методике во многом определяется величиной размагничивающего поля. В [2] для изделий, намагничиваемых накладным соленоидом, проблема неоднозначности решается за счет применения размагничивающего поля, обеспечивающего полное размагничивание эталонного изделия из числа контролируемых, подвергнутого отпуску при максимальной для изделий испытываемого типа температуре.

Для контроля малогабаритных изделий часто используют проходной преобразователь. При этом изделие в процессе движения сквозь преобразователь намагничивают постоянным магнитным полем, создают на пути движения изделия локальную область с постоянным размагничивающим полем, измеряют остаточный магнитный поток, создаваемый изделием после его выхода из области с размагничивающим полем, и по величине этого потока судят о свойствах изделия [3].

В настоящей работе приводятся результаты исследований по повышению достоверности контроля в проходном преобразователе механических свойств малогабаритных изделий из сталей, содержащих более 0,3 % углерода, после закалки и последующего отпуска за счет привязки величины размагничивающего поля к результатам размагничивания эталонного изделия из числа контролируемых, подвергнутого отпуску при максимальной для изделий испытываемого типа температуре.

В результате проведенных исследований, разработана методика, сущность которой заключается в том, что изделие, подвергнутое отпуску с предварительной закалкой, последовательно перемещают сначала сквозь область

с постоянным магнитным полем, сонаправленным с продольной осью изделия и достаточным для его намагничивания до технического насыщения, а затем сквозь область с сонаправленным с продольной осью изделия постоянным размагничивающим магнитным полем заранее определенной величины, при которой достигается полное размагничивание эталонного изделия из числа контролируемых, подвергнутого отпуску при максимальной для изделий данного типа температуре. После выхода изделия из области влияния размагничивающего поля измеряют величину создаваемого изделием остаточного магнитного потока и определяют искомые свойства на основании заранее установленной корреляционной зависимости, связывающей их с величиной указанного потока.

Это позволяет повысить достоверность контроля механических свойств движущегося малогабаритного изделия в области высокотемпературного отпуска за счет частичного размагничивания контролируемых изделий магнитным полем такой величины, при которой достигается полное размагничивание эталонного изделия из числа контролируемых, подвергнутого отпуску при максимальной для изделий испытываемого типа температуре, что обеспечивает повышение чувствительности остаточного магнитного потока, создаваемого контролируемым изделием в процессе движения после его намагничивания и частичного размагничивания, к изменению температуры термообработки и механических свойств изделий из этих сталей в области высокотемпературного отпуска.

Из зависимостей, представленных на рис. 1, видно, что при измерении остаточного магнитного потока Φ_r после размагничивания полем $H_p = 1600$ А/м (кривая 1) для образцов, отпущенных при температуре в диапазонах 250–350 °С и 400–600 °С, величина Φ_r не зависит от изменения температуры отпуска.

При величине размагничивающего поля, обеспечивающей полное размагничивание самого мягкого из контролируемых изделий (для рассматриваемого примера это соответствует величине $H_p = 3200$ А/м), однозначность и высокая чувствительность (примерно 0,14 % изменения информативного параметра на 1 градус) достигается во всем возможном диапазоне изменения температуры отпуска (кривая 2).

Для размагничивающего поля, обеспечивающего размагниченное состояние эталонного изделия из числа контролируемых, подвергнутого отпуску при максимальной для данного типа изделий температуре, величина остаточного магнитного потока контролируемого изделия изменяется сильнее в области высоких и слабее – в области низких температур отпуска, что позволяет изменить ход зависимости измеряемого параметра от температуры отпуска.

УДК 620.179.14 КОНТРОЛЬ НИКЕЛЕВЫХ ПОКРЫТИЙ КАМЕР СГОРАНИЯ РАКЕТНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ НА УЧАСТКАХ СО СЛОЖНОЙ ГЕОМЕТРИЕЙ

А. А. ЛУХВИЧ, А. Л. ЛУКЪЯНОВ, О. В. БУЛАТОВ
ГНУ «ИНСТИТУТ ПРИКЛАДНОЙ ФИЗИКИ НАН БЕЛАРУСИ»
Минск, Беларусь

В работах [1, 2] показано, что магнитодинамический преобразователь с высококоэрцитивным стержневым магнитом диаметром 8 мм является оптимальным выбором для контроля толщины никелевых покрытий камер сгорания ракетных двигателей. Проблема, обусловленная влиянием ферромагнитного корпуса камеры на показания прибора МТНП-1, полностью решается автоматической коррекцией с помощью правильно подобранных настроечных коэффициентов (функцию запоминания и коррекции обусловленного корпусом сигнала удобно называть настройкой нуля). Однако ситуация усложняется, когда необходимо измерить толщину покрытия над вырезанным в корпусе камеры технологическим пазом (показан на рис. 1) размерами ~5x5 мм, расположенным на участке, где толщина ячеистой неферромагнитной прослойки минимальна (~2,7 мм).

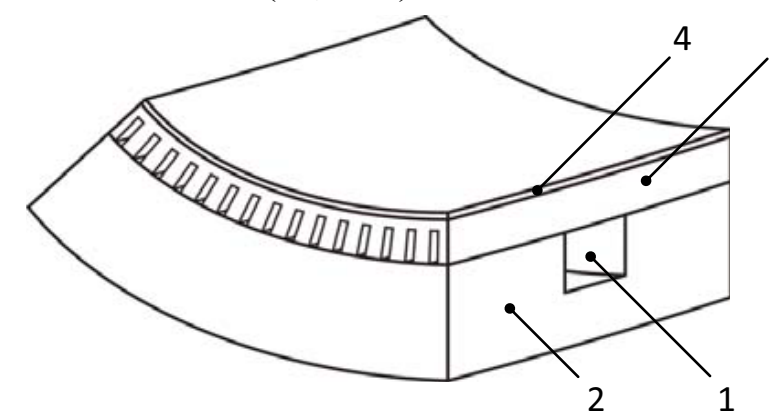


Рис. 1. Технологический паз в корпусе камеры сгорания ракетного двигателя: 1 – технологический паз; 2 – ферромагнитный корпус; 3 – ячеистая неферромагнитная прослойка; 4 – никелевое покрытие

Непосредственно над пазом сигнал преобразователя становится значительно слабее, чем над сплошным корпусом; возникает дополнительная погрешность, обусловленная краевыми эффектами. Выполнены исследования по обеспечению возможности использования алгоритмов и коэффициентов, выбранных для коррекции градуировочной зависимости по корпусу камеры, при контроле покрытия над пазом.

Влияние паза на показания прибора МТНП-1 исследовалось на имитаторах слоев камер сгорания. В качестве корпуса использовалось плоское массивное основание из ракетной стали с вырезанным посередине пазом

По табличным данным видно, что погрешность измерений даже при минимальном значении толщины с прослойки не выходит за пределы $\pm 8\%$. При производственных испытаниях с настройкой нуля по первому варианту установлено, что погрешность составляет $\sim 6\%$.

На прибор МТНП-1 (см. рис. 2) были разработаны комплекты конструкторской и нормативно-технической документации, на основе которых ФГУП "ВНИИМС" (г. Москва) провели испытания прибора с целью утверждения типа. По результатам испытаний прибор МТНП-1 внесен в Государственный реестр средств измерений Российской Федерации под № 44898-10, на прибор выдано свидетельство об утверждении типа № 40481. С целью метрологического обеспечения приборов МТНП-1 созданы меры МТОНП (гальванический никель на бронзе) и МТ-НП (пластины), воспроизводящие толщину никелевых покрытий в диапазоне 20...700 мкм и 250...700 мкм соответственно, с основной погрешностью до $\pm(0,5 + 1\%)$ мкм, разработана и представлена ФГУП "ВНИИМС" аналогичная документация; меры (см. рис. 3) внесены в Госреестр РФ под № 44899-10, на них выдано свидетельство № 40588.



Рис. 2. Магнитный толщиномер никелевых покрытий МТНП-1

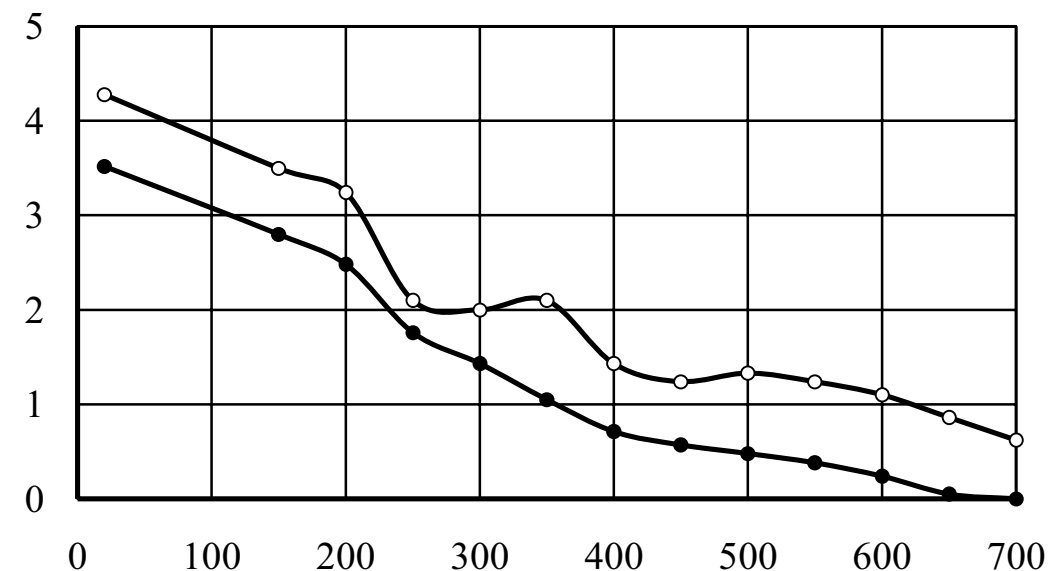


Рис. 3. Меры толщины никелевых покрытий МТ-НП (сверху) и МТОНП (снизу)

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лухвич, А. А. Оценка влияния мешающих факторов при магнитной толщинометрии / А. А. Лухвич, А. Л. Лукьянов, А. К. Шукевич // Дефектоскопия. – 2007. – № 12. – С. 43–52.
2. Лухвич, А. А. Возможности магнитодинамического метода контроля толщины двухслойных покрытий / А. А. Лухвич, О. В. Булатов // Дефектоскопия. – 2008. – № 10. – С. 26–34.
3. Лухвич, А. А. Магнитные толщиномеры нового поколения / А. А. Лухвич // Неразрушающий контроль и диагностика. – 2010. – № 4. – С. 3–15.

E-mail: lab1@iaph.bas-net.by



Сталь 45, диаметр 10 мм, длина 60 мм; Нр, А/м: 1 – 1600, 2 – 3200

Рис. 1. Графики влияния температуры отпуска стержней на величину остаточного магнитного потока после их намагничивания и частичного размагничивания

Эффективность данной методики обусловлена тем, что для размагничивания изделия, подвергнутого низкотемпературному отпуску (то есть более твердого изделия), требуется размагничивающее поле большей, а подвергнутого высокотемпературному отпуску (то есть более мягкого изделия) – размагничивающее поле меньшей величины.

Таким образом, данная методика позволяет повысить чувствительность магнитного метода контроля температуры отпуска изделий из сталей, не имеющих однозначной зависимости результата измерения стандартных магнитных характеристик от температуры отпуска в широком интервале ее изменения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Михеев, М. Н. Магнитные методы структурного анализа и неразрушающего контроля / М. Н. Михеев, Э. С. Горкунов. – М. : Наука, 1993. – 252 с.
2. Матюк, В. Ф. Контроль качества отпуска закаленных изделий из конструкционных среднеуглеродистых сталей импульсным магнитным методом / В. Ф. Матюк, В. А. Бурак // Заводская лаборатория. Диагностика материалов – 2011. – Т. 77 – № 5. – С. 31–36.
3. Сандомирский, С. Г. Магнитный контроль физико-механических свойств изделий массового производства в движении (Обзор) / С. Г. Сандомирский // Дефектоскопия. – 1996 – № 7 – С. 31–39.

E-mail: matyuk@iaph.bas-net.by

УДК 620.179.14
 МЕТОДИКА ВЫБОРА РЕЖИМА ИМПУЛЬСНОГО НАМАГНИЧИВАНИЯ
 ИЗДЕЛИЙ ЦИЛИНДРИЧЕСКОЙ ФОРМЫ ИЗ ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫХ
 УГЛЕРОДИСТЫХ СТАЛЕЙ

В. Ф. МАТЮК., З. М. КОРОТКЕВИЧ
 ГНУ «ИНСТИТУТ ПРИКЛАДНОЙ ФИЗИКИ НАН Беларуси»
 Минск, Беларусь

В магнитной структуроскопии режим намагничивания, в большинстве случаев, должен обеспечивать доведение материала изделия до состояния технического насыщения. При контроле изделий конечных размеров в разомкнутой магнитной цепи требуемая напряженность намагничивающего поля существенно зависит от формы и размеров изделия, а при использовании импульсного режима – от длительности импульсов.

В настоящей работе приводятся результаты исследований по установлению условий технического магнитного насыщения материала изделий цилиндрической формы из инструментальных углеродистых сталей в разомкнутой магнитной цепи при импульсном режиме намагничивания.

Считается, что для достижения материалом состояния, близкого к техническому магнитному насыщению, величина внешнего магнитного поля должна превышать значение коэрцитивной силы H_c намагничиваемого материала в 5–10 раз. Так как на глубине z импульсное магнитное поле в материале ослабляется в $e^{z/\Delta}$ раз, то для его магнитного насыщения на этой глубине амплитуда H_m импульсов внешнего магнитного поля должна быть не менее, чем [1]

$$H_m = 10H_c e^{\frac{z}{\Delta}} = 10H_c e^{z \left(\frac{\mu_m \mu_0 \pi}{2\rho\tau} \right)^{1/2}}, \quad (1)$$

где Δ – величина скин-слоя; μ_0 – магнитная постоянная; μ_m и ρ – соответственно максимальная магнитная проницаемость и удельное электрическое сопротивление материала; τ – длительность импульса.

При намагничивании изделия в разомкнутой магнитной цепи его магнитное состояние определяется напряженностью внутреннего магнитного поля

$$H_{вн} = H_{вн} - N \cdot M, \quad (2)$$

где $H_{вн}$ – напряженность внешнего магнитного поля; N – коэффициент размагничивания [2]; M – намагниченность, соответствующая напряженности внутреннего магнитного поля (в состоянии технического насыщения $M \rightarrow M_s$ – намагниченности насыщения).

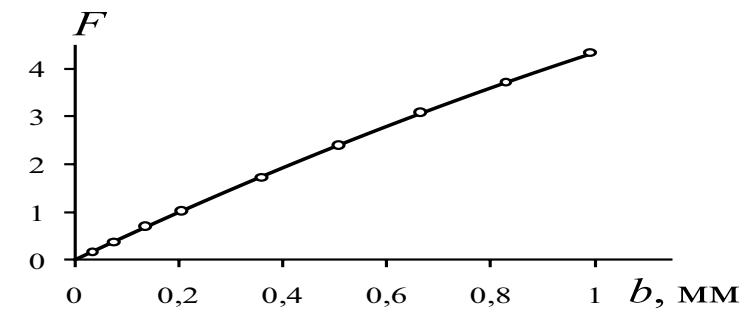


Рис. 1. График зависимости сигнала F магнитодинамического преобразователя от толщины b никеля

Поле преобразователя не локализуется в покрытии; намагничивается также корпус камеры и информативный сигнал становится функцией толщины как никеля, так и бронзовой прослойки; величина погрешности достигает десятков процентов. Функциональные возможности прибора обеспечивают измерение, запоминание и компенсацию неинформативной составляющей сигнала, обусловленной ферромагнитным корпусом. Трудности здесь обусловлены тем, что неинформативная составляющая сигнала зависит как от толщины бронзовой прослойки, так и толщины никеля. Для их устранения экспериментально на моделях и фрагментах камер устанавливается характер зависимости величины сигнала от толщин бронзовой прослойки и никеля, полученные значения заносятся в память прибора; его программное обеспечение позволяет выполнить настройку нуля – коррекцию основной градуировочной зависимости, полученной по сертифицированным мерам покрытий.

Одновременно с этим решается задача метрологического обеспечения приборов. Не используя функцию настройки нуля, становится возможным провести поверку приборов по сертифицированным мерам покрытий.

При практическом использовании приборов особых трудностей не возникает. Настройка нуля может быть выполнена на камерах до нанесения никелевых покрытий или на неферромагнитных пластинах разной толщины, накладываемых на материал корпуса. Первый вариант обеспечивает максимальную точность измерений.

В табл. 1. приведены результаты испытаний прибора МТНП-1 с настройкой нуля, выполнявшейся по второму варианту. Толщина никеля на фрагментах камер сгорания определена методом металлографии.

Табл. 1. Показания F прибора МТНП-1 и погрешность Δ при контроле никелевых покрытий толщиной b на фрагментах камер сгорания ракетных двигателей

№ фрагмента	1	2	3	4	5	6	7
b , мкм	~360	~460	~95	~490	~375	~320	~275
s , мм	6,0	5,7	2,7	5,1	5,3	2,7	2,7
F , мкм	346,2	472,1	90,8	509,0	360,3	295,2	255,3
Δ , %	-3,8	+2,6	-4,4	+3,9	-3,9	-7,8	-7,2

А. А. ЛУХВИЧ, А. Л. ЛУКЪЯНОВ, О. В. БУЛАТОВ
ГНУ «ИНСТИТУТ ПРИКЛАДНОЙ ФИЗИКИ НАН БЕЛАРУСИ»
Минск, Беларусь

Главное преимущество магнитных методов толщинометрии состоит в том, что все физические свойства материалов основания и покрытия, кроме магнитных, не влияют на погрешность контроля; это обеспечивает их широкое применение в промышленности, в том числе при контроле никелевых покрытий. Однако разрешающая способность и диапазон измерений толщиномеров пондеромоторного и магнитоэлектрического принципов действия существенно ограничены наличием в сигнале преобразователя значительной по величине неинформативной составляющей, обусловленной первичным намагничивающим полем. Магнитоэлектрический метод толщинометрии [1–3] автоматически исключает составляющую сигнала, обусловленную первичным намагничивающим полем преобразователя, что значительно расширяет возможности по разрешающей способности и диапазонам измерений. Это преимущество позволило создать многофункциональные толщиномеры покрытий типа МТЦ-2М и МТЦ-3, обеспечивающие измерение одним преобразователем толщины любых ферромагнитных и никелевых покрытий на ферромагнитных основаниях в диапазонах до 10000 мкм и 100 мкм соответственно, никелевых на ферромагнитных основаниях в диапазоне до 150 мкм. Приборы сертифицированы в Республике Беларусь и Российской Федерации, осуществлено их широкомасштабное внедрение.

В некоторых отраслях промышленности (например, при производстве камер сгорания ракетных двигателей) толщина никелевых покрытий в соответствии с техническими условиями достигает 700 мкм и более. Толщиномеры типа МТЦ, как и современные зарубежные аналоги, не обеспечивают указанный диапазон измерений. При контроле камер сгорания возникает ряд принципиальных трудностей. Каждая камера по существу представляет собой трехслойную структуру: никелевое покрытие – бронзовая прослойка (толщина 2,7–9,8 мм) – ферромагнитный корпус камеры. Известно, что магнитные свойства никеля в сильной степени зависят от его структурных свойств. Обеспечить необходимый диапазон измерений, исключить или минимизировать погрешность, обусловленную структурой, можно при условии, что первичное намагничивающее поле преобразователя обеспечивает в объеме информативной зоны намагниченность никеля, близкую к его намагниченности насыщения. Преобразователь для реализации этого условия и прибор МТНП-1 на его основе были созданы; зависимость информативного сигнала от толщины никеля в диапазоне до ~1000 мкм (разрешающая способность 0,10–0,15 мкм) показана на рис. 1.

Тогда для доведения материала цилиндрического стержня с относительной длиной λ на глубине z до состояния технического насыщения, амплитуда H_m внешнего магнитного поля должна быть не менее, чем

$$H_m = 10H_c e^{z \left(\frac{\mu_m \mu_0 \pi}{2\rho\tau} \right)^{1/2}} + M_m \left\{ \frac{0,825(1+1,7/\lambda)^{-1}/\lambda}{(1+1/(2\lambda))\sqrt{1+\lambda^2}} \left[\frac{\sqrt{1+\lambda^2}}{\lambda} \ln(\lambda + \sqrt{1+\lambda^2}) - 1 \right] + \right. \\ \left. + \frac{0,175(1+1,7/\lambda)^{-1}}{\lambda^2(1+1/(2\lambda))} \left[\frac{3+\lambda^2}{\lambda\sqrt{1+\lambda^2}} - \frac{3}{\lambda^2} \ln(\lambda + \sqrt{1+\lambda^2}) \right] + \left(1 - \frac{1}{1+1,7/\lambda} \right) \left[1 - \frac{1}{\sqrt{1+1/\lambda^2}} \right] \right\}. \quad (3)$$

Выражение (3) позволяет, для выбранной длительности импульса и заданных относительных размерах цилиндрического стержня с известными свойствами, определить амплитуду импульса магнитного поля, при которой достигается их техническое насыщение на требуемой глубине.

С использованием выражения (3), для изделий цилиндрической формы из инструментальных углеродистых сталей, установлена неоднозначная зависимость длительности импульсов, при которой на заданной глубине в инструментальных углеродистых сталях наблюдается ослабление магнитного поля в e раз, от температуры отпуска.

Показано, что длительность импульсов следует выбирать из условия доведения до технического насыщения более мягкого в магнитном отношении материала: при контроле качества проведенной закалки – незакаленного материала, а при контроле качества проведенного отпуска – материала, отпущенного при максимально возможной температуре.

Установлено, что для длительности импульса, при которой глубина промагничивания материала превышает радиус стержня, требуемая для его магнитного насыщения амплитуда внешнего магнитного поля практически не зависит от длительности импульса и от температуры, от которой проводилась закалка, а определяется только величиной относительной длины стержня.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ландау, Л. Д. Электродинамика сплошных сред / Л. Д. Ландау, Е. М. Лившиц. – М. : Наука, 1982. – 624 с.
2. Матюк, В. Ф. Центральный коэффициент размагничивания цилиндров / В. Ф. Матюк, А. А. Осипов // Доклады НАН Беларуси – 2006. – Т. 50. – № 1. – С. 107–109.

E-mail: matyuk@iaph.bas-net.by

ОСОБЕННОСТИ ДЕГРАДАЦИИ СТРУКТУРЫ МАТЕРИАЛОВ
МЕТАЛЛОКОНСТРУКЦИЙ И ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОСТИ
ЕЕ ДИАГНОСТИРОВАНИЯ МЕТОДАМИ НЕРАЗРУШАЮЩЕГО
КОНТРОЛЯ

В. Д. МЫНДЮК, М. О. КАРПАШ
«ИВАНО-ФРАНКОВСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ НЕФТИ И ГАЗА»
Ивано-Франковск, Украина

Ресурс безопасной эксплуатации металлоконструкций зависит и от фактического состояния структуры и физико-механических свойств металла, которые со временем деградируют [1]. Однако в нормативно-технических документах, которые применяются при расчете остаточного ресурса металлоконструкций, не учитывается уровень деградации материалов и конструкций в процессе эксплуатации, которая существенно снижает достоверность прогноза.

Поэтому, особо важным научно-практическим заданием является всестороннее изучение структурных изменений, которые происходят в сталях промышленных объектов в процессе длительной эксплуатации.

Для разного типа конструкций и материалов, из которых они изготовлены, процессы деградации и изменения структуры металла выражаются по-разному. Это объясняется особенностями эксплуатации и факторами, которые действуют на них.

Структурное старение низкоуглеродистых сталей в зависимости от условий работы конструкции происходит в двух направлениях: в структуре деградированных сталей данного класса возможен распад перлита и коагуляция карбидов, а также деградация свойств металла в ходе длительной эксплуатации может быть следствием протекания деформационного старения, механизм которого заключается в уменьшении концентрации атомов углерода и азота в свободном состоянии и уменьшении подвижности дислокаций, которая приводит к снижению пластичных свойств металла и показателей сопротивления хрупкому разрушению (ударной вязкости и трещиностойкости).

Изменения структуры жаропрочных и теплостойких сталей в процессе эксплуатации происходят, по большей части, в направлении более равномерного распределения карбидных выделений в теле зерна. Общей особенностью структурной деградации сталей этого класса является то, что после термоциклической наработки в материале частично теряется пластичность (растет предел текучести), накапливается неоднородность отдельных локальных зон металла. С ростом термоциклической наработки значительную

Базовое программное обеспечение позволяет проводить комплектное измерение зубчатых деталей, т.е. измерение и расчет погрешностей шага, профиля, эвольвенты, радиального биения внешнего и внутреннего зубчатого зацепления, включая расчет размера через зубья (длина общей нормали) или по роликам.

Принцип работы зубоизмерительного комплекса и традиционных приборов для контроля эвольвенты, направления зуба и шага зубьев во многом схож. В процессе измерения, измерительный щуп сканирует боковую поверхность зуба по профилю, по линии зуба и последовательно касается всех боковых сторон зубьев (рис. 2). В результате определяется погрешность профиля, погрешность линии зуба, отклонения шагов и погрешность радиального биения.

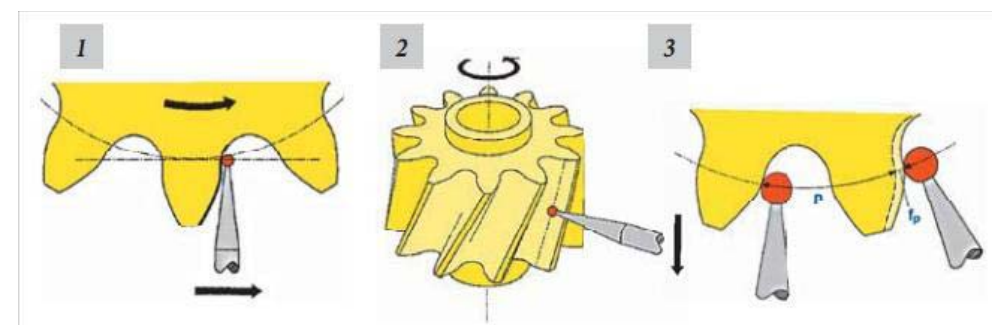


Рис. 2. Измерение профиля (1), линии зуба (2) и шага (3)

Результаты измерений могут быть представлены и в графическом виде. Поскольку методы анализа и представления результатов стандартизованы для всех изготовителей зубоизмерительных комплексов, то обеспечивается сопоставимость результатов, сделанных на разном оборудовании. В результате обеспечивается прослеживаемость результатов измерения и данные протоколы могут быть использованы для подтверждения качества изготовленных деталей.

Многие предприятия машино- и приборостроения отдают предпочтение зубоизмерительным комплексам, которые обеспечивают измерение деталей теоретически от первой степени точности.

Зубоизмерительный комплекс не имеет ограничений в части измерения колес с нестандартными параметрами профиля и линии зуба (модификации по профилю и линии зуба).

Современные универсальные и специальные СИ заменяют все ранее применявшиеся приборы для контроля зубчатых колес и позволяют измерять, кроме цилиндрических, конические колеса, червяки, червячные колеса и зуборезные инструменты (червячные фрезы, долбяки и шеверы).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Калашников, А. С. Технология изготовления зубчатых колес / А. С. Калашников. – М. : Машиностроение, 2004. – 480 с.

ных приложений и программных модулей. КИМ дополнительно оснащается поворотным столом.

Например, основанный на принципах системы автоматического проектирования программный продукт GEAR PRO, разработанный компанией Carl Zeiss, предназначен для контроля зубчатых передач и позволяет на основе параметров зубчатого зацепления генерировать CAD модели зубчатых колес (рис. 1).

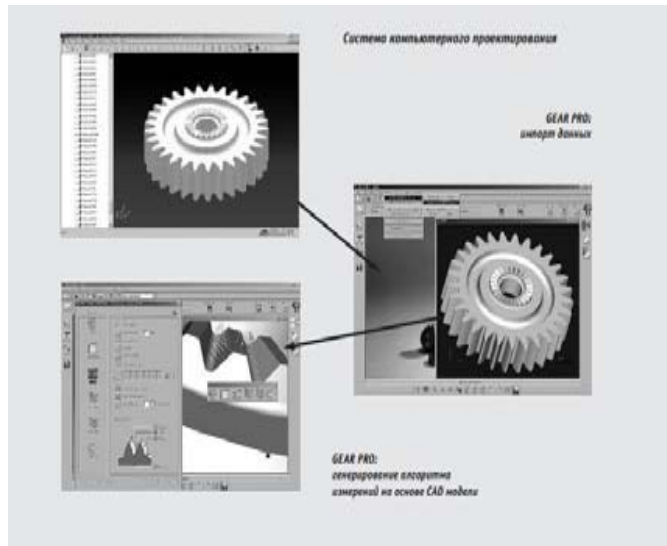


Рис. 1. Построение CAD модели измеряемого зубчатого колеса

Для генерирования программ измерений на основе САД данных требуется двумерная модель профиля зубьев. Кроме того, при выполнении анализа на базе двумерной модели снижается влияние погрешности позиционирования измерительной машины. Поэтому GEAR PRO использует двумерную модель профиля зубьев. Сопоставимость данного метода подтверждается сертификацией алгоритмов анализа GEAR PRO.

Помимо передачи данных о геометрии конструкции в метрологическое программное обеспечение имеется возможность включения дополнительной информации, например, о допусках. В области технологий контроля зубчатых передач для этого был разработан специальный файловый формат – Gear DataExchange Format (GDE), принятый в качестве стандарта в соответствии с Директивой VDI.

В некоторых случаях, эффективнее контроль зубчатых колес осуществлять на специальном оборудовании, например, зубоизмерительных комплексах, предназначенных для комплектного измерения геометрической формы зубчатых колес, т.е. профиля, направления, шагов, радиального биения и контрольных размеров.

Зубоизмерительные комплексы являются средством аналитического контроля отклонений зубчатого венца. Применение этого СИ обеспечивает оптимальное качество и представления результатов контроля параметров зубчатого колеса.

роль играют процессы термического поворота, predetermined перераспределением дислокаций.

Изменения в структуре аустенитных конструкционных сталей характеризуются:

- межкристаллическим коррозионным растрескиванием;
- поверхностным обезуглероживанием;

– появлением полосчатости, которое характеризуется вытягиванием вдоль направления деформации структурных составляющих; ростом размеров зерен.

Аустенитная фаза – есть высокотемпературная модификация сплава железа с углеродом. В результате действия на стали такого класса внешних факторов наблюдаются выделения ферритной фазы, менее стойкой, приводящей к образованию из избыточного углерода хрупких карбидных соединений и межкристаллической коррозии, что снижает показатели прочности металла и его трещиностойкость.

На основе изучения особенностей процессов старения сталей металлоконструкций можно выделить такие основные параметры, которые будут характеризовать необратимые структурные изменения материала:

– изменение размеров и ориентации зерен отдельных структурных фаз со временем (разнозернистость), что приводит к анизотропии механических и физических свойств в разных направлениях материала как локально, так и по материалу в целом;

– морфологическое изменение отдельных фаз и изменение их соотношения в структуре, что значительно влияет на изменение отдельных физических свойств материалов, а, особенно, – структурно чувствительных параметров (магнитных, электрических, акустических и т. п.);

– выделение вторичных фазовых составляющих (например, карбидов легирующих элементов или низкотемпературных модификаций металла из высокотемпературных) из основных фаз и распределение их по границам зерен, группирования в отдельные зоны. Эти процессы имеют диффузионный характер и приводят к значительной химической неоднородности локальных зон.

Механические и физические свойства материалов «закладываются» на уровне структуры и взаимосвязаны. По изменениям физических свойств можно судить об изменении фазового состава сплавов и о протекании структурных превращений в результате деградации материалов [1].

Связь между комплексом физических свойств (акустических, магнитных, электрических, магнитоупругих и др.), с одной стороны, и кристаллографической структурой, дефектностью, уровнем и характером напряжений, механическими и другими эксплуатационными характеристиками – с другой стороны, лежит в основе такого направления контроля, как структуроскопия.

В современном развитии методов структуроскопии выделяют два основных направления [2]:

– поиск новых параметров контроля и разработка соответствующих методик измерения и измерительных преобразователей;

– многопараметрический контроль с использованием одновременно двух или больше информативных параметров.

Возможности первого направления, по большей части, уже реализованы, а развитие многопараметрической структуроскопии стимулируется не только осложнением задач контроля, но и бурным развитием компьютерных технологий сбора и обработки измерительной информации.

Учитывая специфику деградиционных изменений структуры материалов металлоконструкций в ходе эксплуатации, целесообразно использовать структурночувствительные и фазочувствительные физические свойства. К первым относятся свойства, которые реагируют на изменение степени искажения кристаллической решетки, на концентрацию примесных атомов, порядок в расположении атомов компонентов, на размер зерна, на появление частиц чрезмерной фазы, изменение их дисперсности и на другие особенности структуры. А это такие свойства, как электрические, акустические, гальваномагнитные, некоторые магнитные свойства (например, коэрцитивная сила), внутреннее трение.

Фазочувствительные физические свойства позволяют с высокой точностью фиксировать изменение состава фаз и количественного соотношения между ними, то есть фазового состава сплавов. К таким свойствам, в первую очередь, следует отнести намагниченность насыщения.

Для реализации структуроскопии в плане, сохранения целостности материала или изделия, целесообразно использовать неразрушающий контроль с высокой пространственной разрешающей способностью тех параметров, которые являются наиболее чувствительными к изменениям структуры материала.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Карпаш, О. М.** Питомий електричний опір як інформативний параметр визначення фактичних фізико-механічних характеристик конструкційних сталей / О. М. Карпаш [и др.] // Металлофізика і новітні технології. – 2008. – Спец. вып. – Т. 30. – С. 213–219.

2. **Костин, В. Н.** Многопараметровые методы структуроскопии стальных изделий с использованием магнитных свойств вещества / В. Н. Костин [и др.] // Дефектоскопия. – 2004. – № 3. – С. 70–81.

E-mail: tinlaven@gmail.com

УДК 621.002

ОСОБЕННОСТИ КОНТРОЛЯ ЗУБЧАТЫХ КОЛЕС НА МАШИНОСТРОИТЕЛЬНЫХ ПРЕДПРИЯТИЯХ

О. А. КРОТОВА, К. В. КЛИМОВИЧ
«БЕЛОРУССКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
Минск, Беларусь

В большинстве современных изделий, выпускаемых предприятиями машино- и приборостроения, используются зубчатые передачи, которые в конструктивном, технологическом и метрологическом отношении являются одними из наиболее сложных элементов машин и механизмов. Рост требований к качеству зубчатых колес приводит к непрерывному совершенствованию и усложнению методов их проектирования, технологий изготовления, средств и методов контроля.

Средства для контроля параметров зубчатых колес можно классифицировать следующим образом [1]:

– по конструктивному исполнению: на накладные и станковые. Отдельно можно выделить приборы, встраиваемые в технологическую систему, например, измерительная рука с контактным датчиком Renishaw, установленная на зубошлифовальный станок с ЧПУ;

– по степени механизации и автоматизации: на ручные, механизированные, автоматизированные (от ручных с цифровым отсчетом до измерительных систем с компьютерным управлением), автоматические;

– по степени специализации: на однопараметрические и многопараметрические; специальные, специализированные и универсальные;

– по месту в производственном процессе: на приборы для входного, технологического и приемочного контроля.

Параметров для контроля у зубчатых колес огромное множество и для измерения практически каждого из них требуется специализированное средство измерений (СИ), но использовать большое количество СИ не представляется возможным из-за значительных материальных затрат. Решить задачу контроля качества зубчатых колес помогают универсальные и специальные измерительные приборы.

Универсальные измерительные приборы применяют в контрольно-измерительных лабораториях всех типов производств, а также в цехах единичных и мелкосерийных производств. В отношении зубчатых колес, они предназначены для поэлементного контроля цилиндрических, конических и червячных колес.

Для реализации методики выполнения измерений зубчатых колес на координатно-измерительных машинах (КИМ) разработчики программного обеспечения расширяют возможности базовых программ за счет специаль-

где ΔL^* , Δa^* , Δb^* – различия светлоты и координат цвета испытуемого образца и образца сравнения.

Были созданы цветные и ахроматические образцы и палитры, аттестованные в лаборатории физико-химических измерений НП РУП «Белорусский государственный институт метрологии», и проведен внутривлабораторный сличительный эксперимент, основанный на том, что в условиях повторяемости и промежуточной прецизионности были получены координаты цвета посредством цифровой регистрации с помощью ПЗС-матрицы цифровой камеры в форматах JPEG, TIFF, RAW с различными выдержками и с помощью колориметра LM 7 Colorimeter C2210. Были определены координаты цвета образцов в системе RGB для значений экспозиции 0,3; 0,7; 1,0; 1,3; 1,7 с для получения зависимостей при пересчете в систему XYZ. Измерительный канал включал источник света (типа А), объект измерений, регистрирующее фотоприемное устройство (цифровую камеру полупрофессионального и профессионального класса), отображающее устройство, цифровое изображение. Для каждой серии изображений построены зависимости значений усредненной яркости (отн.ед.) по каждому цветовому каналу от времени экспозиции (выдержки), представленные на рис. 2.

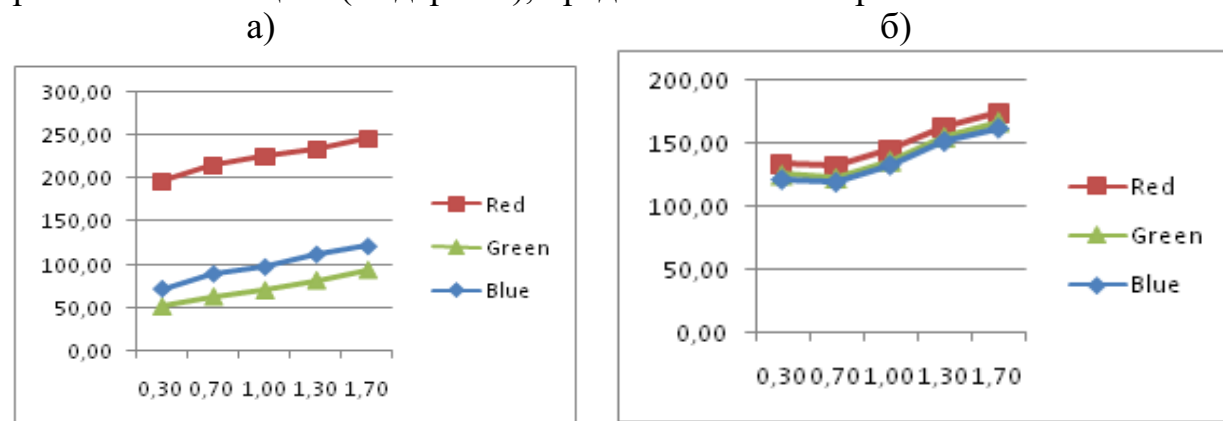


Рис. 2. Графики зависимости яркости цифровых изображений от времени экспозиции: а – «пурпурная палитра»; б – «серая палитра»

Зависимости показывают пропорциональное линейное возрастание яркости с увеличением времени экспозиции. Установлено, что наибольшее среднее квадратическое отклонение наблюдается в синем цветовом канале.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Годен, Ж.** Колориметрия при видеообработке / Годен Ж. / М. : Техносфера, 2008. – 328 с.
2. Цвет. Управление цветом. Цветовые расчеты и измерения [Электронный ресурс]. /М. Домасев, С. Гнатюк / 2009. С. 219. Режим доступа: <http://book.tr200.net/v.php?id=39890>.
3. Краски и лаки. Колориметрия. Часть 1. Основные положения ISO 7724-1-2008.

E-mail: evgeniya-savkova@yandex.ru

УДК 621.385

ОПЕРАТИВНЫЙ КОНТРОЛЬ СТЕПЕНИ УПЛОТНЕНИЯ АСФАЛЬТОБЕТОННЫХ ПОКРЫТИЙ В ПРОЦЕССЕ УКАТКИ

С. Б. ПАРТНОВ

ГУ ВПО «БЕЛОРУССКО-РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Могилев, Беларусь

Важнейшим элементом технологического процесса строительства автомобильных дорог является уплотнение их оснований и покрытий, от качества проведения которого зависят эксплуатационные свойства дорожной конструкции.

На месте укладки асфальтобетонной смеси постоянно проводят контроль температуры асфальтобетонной смеси, количества укладываемой смеси, толщины слоев поперечного уклона, ровности, плотности, прочности, однородности асфальтобетонных покрытий по плотности и прочности.

Обеспечения требуемых геометрических размеров асфальтобетонного покрытия добиваются настройкой рабочих органов асфальтоукладчика, а физико-механических свойств в процессе уплотнения – соблюдением технологической последовательности выполнения этой операции.

Для контроля качества строительства асфальтобетонных покрытий и оснований необходимы операционные методы, обеспечивающие получение экспресс-информации на всех этапах строительства и позволяющие своевременно вносить в технологические процессы строительства коррективы, исключающие выпуск бракованной продукции.

Актуальность вопроса оперативного контроля плотности асфальтобетона определяется резким снижением его качества при недоуплотнении и, как следствие этого, уменьшение срока службы дорожной одежды. Исправить бракованные участки после остывания асфальтобетона невозможно.

Поэтому важно иметь оперативную информацию о степени уплотнения в процессе укатки.

Известно, что в процессе уплотнения изменяется коэффициент сопротивления качению и, как следствие этого, момент сопротивления перекачиванию катка.

Экспериментально установлено, что между коэффициентом сопротивления качению и плотностью уплотняемого слоя существует тесная корреляционная зависимость. В процессе укатки коэффициент сопротивления качению уменьшается из-за увеличения плотности покрытия, поэтому имея информацию об изменении момента сопротивления можно судить о степени уплотнения дорожного покрытия.

Измерительным элементом данного устройства является датчик момента, установленный на валу, соединяющим вал двигателя с насосным колесом гидротрансформатора или на полуоси. Исполнение датчика момента бескон-

тактное, на валу установлены только металлические диски с радиальными прорезями, число которых может достигать до восьми. Вблизи вала по концам его гладкой поверхности на кронштейне монтируются преобразователи импульсные щелевые с возможностью вхождения дисков в щели преобразователей. Поэтому при работе двигателя диски проходят в щели преобразователей, прохождения выступа диска на выходе преобразователей формирует импульс прямоугольной формы. На каждый выступ формируется по одному прямоугольному импульсу. При работе катка последовательность импульсов, снимаемая с преобразователя, установленного на полуоси вальца, отстает по фазе от последовательности импульсов, снимаемых с преобразователя, установленного у двигателя.

Для формирования сигнала установлены: вычитающий элемент, выполненный на двух резисторах, соединенных встречно, выпрямитель, сглаживающий фильтр.

На выходе вычитающего элемента появляется равнополярная последовательность импульсов, каждый из которых в данный момент времени имеет ширину, пропорциональную величине момента на валу двигателя. После выпрямителя формируется последовательность однополярных импульсов. С помощью сглаживающего фильтра, постоянная времени которого выбрана в соответствии с заданными требованиями на проектирование датчика момента.

Изменения момента через электронную систему преобразуется в напряжение постоянного тока, уровень которого пропорционален моменту сопротивления перекачиванию, который измеряется прибором, установленным на щитке приборов в кабине катка.

На шкале прибора имеется сектор, показание прибора, соответствующее указанному сектору, позволяет машинисту реагировать на процессы укатки.

По показаниям прибора можно судить о степени уплотнения и о целесообразности продолжения укатки дорожного покрытия катком данной массы.

В докладе приводятся схема устройства для контроля степени уплотнения, его техническая характеристика, а также результаты экспериментальных исследований процесса укатки асфальтобетонных покрытий с использованием прибора предлагаемой конструкции.

где L_i – яркость i -й элементарной площадки рабочей поверхности, кд/м²; i – порядковый номер элементарной площадки рабочей поверхности; n – количество элементарных площадок рабочей поверхности; k_1, k_2 – коэффициенты, зависящие от индикатрис рассеяния поверхности объекта в контрольной точке, отн.ед.

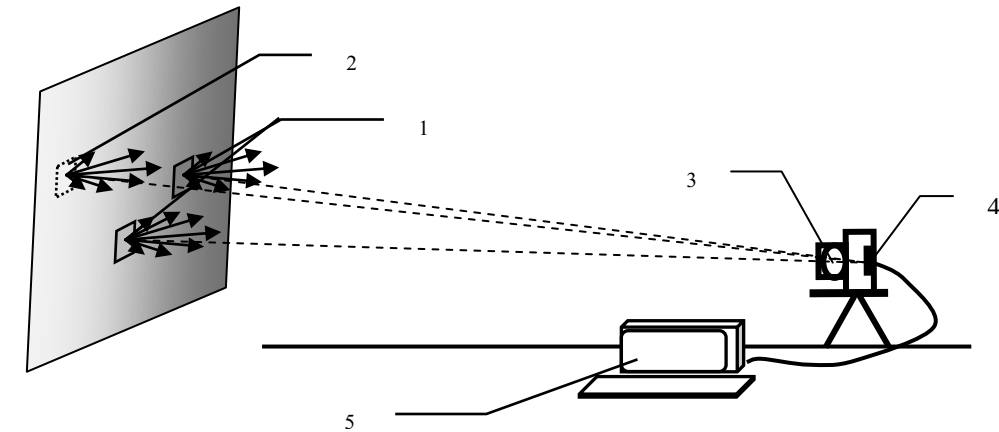


Рис. 1. Принцип измерения яркости несамосветящегося объекта

Способ реализован при проведении фотометрических испытаний автомобильных фар дальнего, ближнего света и сигнальных фонарей с помощью специального средства измерений, включающего фотоэлектрический яркомер (ГОСТ Р 8.665), цифровую камеру полупрофессионального класса, поддерживающую форматы *TIFF* и *RAW*, с порогом чувствительности 0,1 лк.

На предварительном этапе камера была подвергнута тестированию, которое проводилось в лабораторных условиях и включало процедуры определения количества дефектов фоточувствительного поля матрицы; неравномерности чувствительности по полю изображения; сигнала насыщения; уровня темного сигнала и ширины динамического диапазона путем выполнения серии калибровочных кадров. При пересчете к световым единицам разброс точек относительно калибровочной кривой составлял не более 10 %, что показывает возможность применения данного метода.

В области колориметрии высокого разрешения установлено, что для согласования процесса передачи графических данных и обеспечения метрологической прослеживаемости необходимо применять стандартизованные профилирующие средства – цветовые мишени, представляющие собой наборы однозначных мер – Pantone, Gretag Munsell ColorChecker, IT8.7/2, IT8.7/1 и др., и референсные цветовые пространства, такие как *sRGB* и *CIE L*a*b** [1]. Цвет выделенной группы пикселей цифрового изображения определяется путем сравнения усредненных числовых значений колориметрических показателей с показателями палитры цветовых мишеней. Идентифицируемому цвету приписываются значения мишени по критерию минимального стандартного отклонения цвета ΔE_{ab} , которое для всех модификаций пространства *CIE XYZ* находят по формуле [2, 3]:

$$\Delta E_{ab} = \sqrt{(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2} \quad (4)$$

ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЙ КОНТРОЛЬ ПАРАМЕТРОВ
НЕСАМОСВЕТАЮЩИХСЯ ОБЪЕКТОВ С ПРИМЕНЕНИЕМ СИСТЕМ
ТЕХНИЧЕСКОГО ЗРЕНИЯ

И. Е. ЗУЙКОВ, Е. Н. САВКОВА
«БЕЛОРУССКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
Минск, Беларусь

В работе рассматривается метод измерения яркости и координат цвета несамосветящихся объектов с применением систем технического зрения (работа выполняется в рамках ГНТП «Электроника и фотоника», подпрограмма «Фотоника 2015» (задание «Разработка принципов, методов и аппаратно-программных средств колориметрии высокого разрешения»)).

Предложенный способ измерения яркости (см. рис. 1) основан на том, что на поверхности объекта выбирают в различающихся по освещенности зонах две области 1 опорной яркости, в которых с помощью яркомера измеряют усредненные яркости L_{01} и L_{02} . Затем на линии, исходящей из центра зоны наблюдения в направлении освещаемого объекта, располагают матричное фотоприемное устройство 4 на расстоянии до границ контрольного участка 2 не менее десятикратного минимального размера этого участка таким образом, чтобы его объектив располагался на уровне глаз оператора и оптическая ось совпадала с линией зрения. Цифровую регистрацию поверхности объекта осуществляют включая области опорной яркости и путем компьютерной обработки полученных цифровых изображений определяют яркость L контрольной точки по формуле:

$$L = (N - N_{01}) \frac{(L_2 k_2 - L_1 k_1)}{N_{02} - N_{01}} + L_1 k_1 \quad (1)$$

где N – усредненная яркость участка цифрового изображения, соответствующего области данной контрольной точки, отн.ед. $CIE Lu^*v^*$:

$$N = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n N_i \quad (2)$$

где N_i – яркость i -го элемента цифрового изображения, отн. ед. ($CIE Lu^*v^*$, $CIE La^*b^*$, YIQ , $YCbCr$ и др.); N_{01} , N_{02} – усредненные яркости участков цифрового изображения опорных областей, отн.ед. ($CIE Lu^*v^*$, $CIE La^*b^*$, YIQ , $YCbCr$ и др.); L_{01} , L_{02} – усредненные значения яркости опорных областей, кд/м², вычисленные по формуле

$$\bar{L} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n L_i \quad (3)$$

ОЦЕНКА РЕЛАКСАЦИИ И ПОЛЗУЧЕСТИ АСФАЛЬТОБЕТОНА
МЕТОДОМ ИНДЕНТИРОВАНИЯ

В. А. РУДНИЦКИЙ, А. П. КРЕНЬ, О. В. МАЦУЛЕВИЧ
ГНУ «ИНСТИТУТ ПРИКЛАДНОЙ ФИЗИКИ НАН Беларуси»
Минск, Беларусь

Важнейшую роль в оценке качества дорожных покрытий играют реологические свойства материала, такие как релаксация и ползучесть. Эти свойства характеризуют запаздывающую реакцию асфальтобетона на силовое воздействие, оказываемое на нее транспортным средством во время эксплуатации дорожного покрытия. В зависимости от структуры (пропорций составных компонент, входящих в асфальтобетон) и температурных условий в асфальтобетоне могут превалировать упругие, вязкие или пластические свойства. Кроме того, асфальтобетону свойственно также проявление высокоэластических свойств, заключающихся в более медленном восстановлении деформаций после прекращения силового воздействия, по сравнению с чисто упругим деформированием. Причем степень проявления этих свойств зависит не только от физико-химических свойств структурных составляющих асфальтобетона, но и от характера приложения силовой нагрузки (методики испытаний). Классические способы оценки реологических свойств заключаются в оценке изменения напряжений во времени $\sigma = \sigma_0 f(t)$ при заданной величине деформации ε_0 (релаксация) или в оценке изменения во времени деформации $\varepsilon = \varepsilon_0 f(t)$ при неизменной величине напряжения σ_0 (ползучесть). Для проведения таких испытаний необходимо изготавливать образцы асфальтобетона специальной формы и применять дорогостоящее оборудование, позволяющее осуществлять нагружение образцов в соответствии с заданной программой.

В отличие от классических схем авторами предлагается использовать индентирование (вдавливание) полусферического наконечника с различными скоростями в образцы асфальтобетона, производить при этом запись диаграмм зависимостей контактной силы P от глубины вдавливания α и зависимостей контактной силы от времени $P = f(t)$ или глубины вдавливания от времени $\alpha = f(t)$. По полученным зависимостям можно проследить характер изменения контактной силы со временем при достижении заданного значения глубины внедрения или изменение глубины внедрения индентора со временем при заданном значении контактной силы, что достаточно для оценки релаксации и ползучести асфальтобетона соответственно. В качестве обоснования выбора предлагаемой методики следует отметить, что в предлагаемой методике используются длительности нагружения, которые макси-

мально близки к реальным временам воздействия на асфальтобетон шинами движущихся транспортных средств.

Для практической реализации предложенной методики целесообразно использовать стандартные испытательные прессы, обеспечивающие вдавливание сферического индентора с различной заданной постоянной скоростью и метод ударного динамического индентирования материала жесткой сферой того же диаметра. Динамическое индентирование, регистрация диаграмм усилий $P = f(t)$ и глубины вдавливания $\alpha = f(t)$ от времени осуществлялось с помощью разработанного в ИПФ НАН Беларуси прибора ИПМ-1А, включающего ударный преобразователь, блок АЦП и мини ЭВМ. Прибор позволял определять для любого момента времени текущие значения контактной силы P и глубины вдавливания α . Предварная скорость индентора варьировалась в пределах 2,0–3,2 м/с. Как и предполагалось, при ударном нагружении время достижения заданной глубины 1,9 мм не превышало 80 мкс, за которое релаксационные процессы развиваться не успевали и поэтому значения контактной силы и глубины вдавливания принимались за базовые величины, в плане начала отсчета их изменений во времени, при использовании более медленных нагружений, осуществляемых с постоянной скоростью на испытательных прессах. Использовались 3 значения скорости нагружения: 2,0; 10,0 и 50,0 мм/мин. Обработка зависимости уменьшения контактного усилия, (базовая величина которого равнялась 3400 Н) от времени и увеличения глубины вдавливания, начиная от базовой величины 1,9 мм в соответствии с принятой моделью стандартного вязкоупругого тела, осуществлялась в виде экспоненциальной зависимости. В результате эксперимента было получено, что усредненное значение времени релаксации испытуемого асфальтобетона было равно 32 с, а время ползучести составило 41 с.

По сравнению с испытаниями образцов, подвергаемых однократному нагружению на испытательных прессах, использование индентирования позволяет производить многократное нагружение в различных точках одного и того же образца и определять реологические характеристики путем усреднения результатов испытаний, что позволяет получать более достоверные данные о свойствах асфальтобетона. Кроме того, информацию о свойствах материала можно получить, используя только процесс нагружения, т. е. процесс, когда нагрузка или деформация монотонно увеличиваются, без поддержания постоянства нагрузки или деформации, как это требуют классические способы определения релаксации и напряжения.

E-mail: rudnitsky@iaph.bas-net.by

Прибор состоит из электронного блока и подключаемых к нему при помощи разъемов вихретоковых преобразователей (ВТП). Схема расположения преобразователей изображена на рис. 2. ВТП 2 и 4 предназначены для контроля координат трубы по оси X, 3 и 5 – для контроля по оси Y. Два преобразователя на одну ось выбраны для повышения достоверности контроля и отстройки от мешающих факторов (температуры и пр.). Работа устройства основана на резонансном методе вихревых токов, описанном в [1]. Погрешность устройства "УККТ-1" зависит от диаметра напорной трубы и диаметра оболочки (зазора между ВТП и стальной трубой). Так, для труб с диаметром напорной трубы 55 мм, оболочки – 125 мм (зазор между трубой и оболочкой около 40 мм), устройство имеет погрешность ± 1 мм. Из всех типовых размеров труб «Касафлекс» данное соотношение диаметров максимальное, соответственно, погрешность устройства ± 1 мм является максимальной.

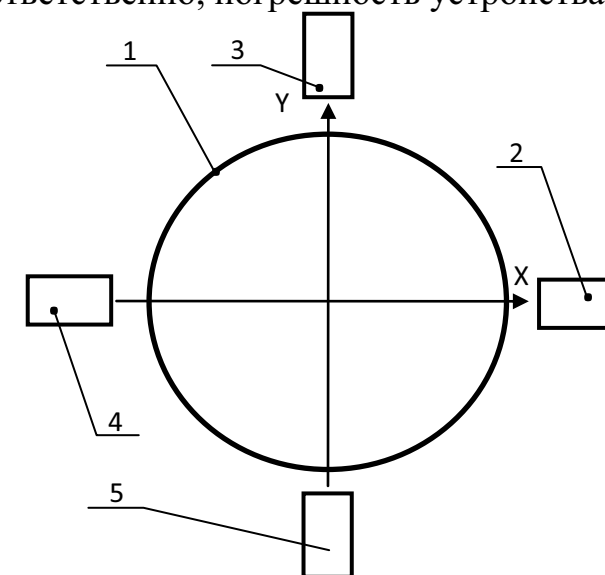


Рис. 2. Схема расположения ВТП при контроле труб: 1 – оболочка; 2-5 – ВТП

Контроль проводится в автоматическом режиме. При расцентровке устройство выдает сигналы управления на исполнительный механизм, который смещает оболочку относительно напорной трубы. Для наглядности контроля устройство подключено к ПЭВМ, на мониторе которого при этом выводится графическое изображение оболочки и напорной трубы и их взаимное расположение.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Загорский, И. Е.** Использование резонансных схем в вихретоковых методах контроля ферромагнитных изделий / И. Е. Загорский // Инженерия поверхностного слоя деталей машин: материалы II междунар. науч.-практ. конф. – Минск : БНТУ, 2010. – С. 269.

E-mail: lab5@iaph.bas-net.by

И. Е. ЗАГОРСКИЙ
ГНУ «ИНСТИТУТ ПРИКЛАДНОЙ ФИЗИКИ НАН Беларуси»
Минск, Беларусь

В настоящее время в строительной отрасли для прокладки теплосетей широкое распространение получили гибкие стальные изолированные трубы типа «Касафлекс». Такие трубы предназначены, прежде всего, для подземной бесканальной прокладки сетей теплоснабжения и горячего водоснабжения. Труба «Касафлекс» имеет гофрированную напорную трубу 1 (рис. 1), изготовленную из нержавеющей немагнитной стали (как правило, хромоникелевые стали), гидроизолирующую оболочку 2 из полиэтилена; теплоизоляцию 3 из озонобезопасного пенополиуретана, внутри которого проходит сигнальный кабель 4 для подключения системы оперативного дистанционного контроля. Гибкость труб «Касафлекс» позволяет использовать их при практически любых вариантах прокладки трубопровода и дает возможность выбрать оптимальный маршрут.

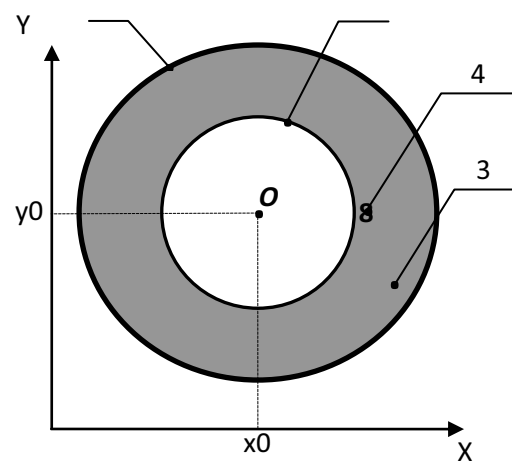


Рис. 1. Расположение элементов труб «Касафлекс»: 1 – напорная труба; 2 – оболочка; 3 – теплоизоляция; 4 – сигнальный кабель

Одним из основных показателей качества труб при их производстве является центровка напорной трубы относительно центра оболочки $O(x_0, y_0)$ (рис. 1). Расцентровка снижает эксплуатационные характеристики труб (гибкость, теплопроводность), поэтому у производителя возникает задача контроля центровки опорной трубы и оболочки при производстве.

В ИПФ НАНБ разработано и успешно внедрено устройство контроля координат труб «УККТ-1» для труб «Касафлекс» любых типоразмеров. Устройство предназначено для контроля координат стальной трубы по осям X, Y (рис. 1), в том числе и в процессе ее движения вдоль продольной оси.

С. Г. САНДОМИРСКИЙ
ГНУ «ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ МАШИНОСТРОЕНИЯ
НАН Беларуси»
Минск, Беларусь

Физической основой магнитного структурного анализа является чувствительность механических и магнитных свойств сталей к структурным превращениям, происходящим в них при термических обработках. Коэрцитивная сила H_C является единственным магнитным параметром материала, измерение которого допускается в открытой магнитной цепи. Важным параметром сталей, используемым в электротехнике и магнитном неразрушающем контроле, является максимальная магнитная проницаемость μ_m . Но зависимости μ_m сталей от технологических факторов приводятся в литературе реже, чем H_C , а приведенные в различных источниках данные о зависимостях μ_m ряда материалов от технологических факторов различаются.

Причина этого – в сложности и более высокой погрешности измерения. Измерение μ_m магнитомягких материалов по стандартным методикам осуществляют на образцах тороидальной формы или в замкнутой магнитной цепи. Изготовить образцы для таких исследований не всегда возможно. Не соблюдение стандартных требований к измерению магнитных свойств сталей привело ряд авторов к измерению μ_m образцов в открытой магнитной цепи (некоторые исследователи использовали при этом «надставки из магнитомягкого материала»), которые включены в справочные издания как магнитные свойства материалов (например, на рис. 12.1, 12.5, 12.13, а, 12.24, а в [1]). Это делает некоторые из справочных данных о μ_m сталей не достоверными, сдерживает определение оптимальных технологических режимов термической обработки сталей и разработку методов их контроля.

Между тем, анализ достоверных данных показывает, что под влиянием различных факторов μ_m сталей изменяется во взаимосвязи с их H_C и остаточной намагниченностью M_R .

В работе сообщается об использовании связей между магнитными параметрами сталей для установления действительных зависимостей максимальной магнитной проницаемости сталей от режимов их термической обработки.

Для решения этой задачи использованы [2].

1. Разработанная Гумлихом и Шмидтом эмпирическая формула, связывающая μ_m сталей и чугунов с H_C и M_R предельной петли гистерезиса:

$$\mu_m \approx (0,476 + \beta H_C) \frac{M_R}{H_C}, \quad (1)$$

где $\beta = 0,0712$ м/кА.

Экспериментальная проверка показала применимость формулы (1) для современных сталей [3].

2. Полученная в [4] формула для расчета M_R по значениям релаксационной намагниченности M_{Hr} и намагниченности M_S технического насыщения:

$$M_R \approx M_S (0,92 - 2,55 M_{Hr} / M_S). \quad (2)$$

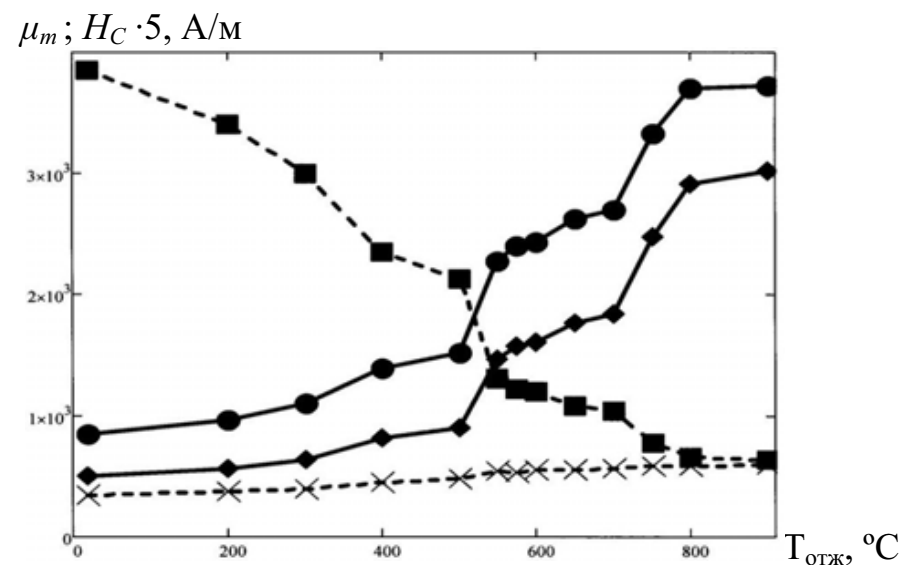
3. Полученная в [5] формула для расчета M_R как среднего значения диапазона возможного изменения M_R по результату измерения M_S и H_C (в кА/м):

$$M_R = 575 + 0,3M_S - 57,5H_C + |0,1M_S + 20H_C - 200| - |0,2M_S + 37,5H_C - 375|. \quad (3)$$

4. Аналитическое описание реально существующей связи μ_m сталей с их H_C [6] (размерность H_C – кА/м):

$$\mu_m \approx 1 + 35000 \cdot (e^{-4H_C^{0,285}}). \quad (4)$$

В качестве примера, на основании (4) и результатов измерения H_C образцов, в открытой магнитной цепи установлена [6] действительная зависимость μ_m стали 08Ю от температуры $T_{отж}$ отжига. Показано (рис.1), что, в отличие от данных [1], при изменении $T_{отж}$ от 20 до 900 °С μ_m стали 08Ю изменяется не в 1,7, а в 4 раза.



■ и X – справочные данные о H_C и μ_m из рис.12.1 в [1]; ●-◆ – диапазон возможного изменения действительных значений μ_m по [6]

Рис. 1. Зависимости μ_m и H_C стали 08Ю от температуры $T_{отж}$ отжига

Были проведены исследования по определению размера рентгеновского пучка, сформированного системой, и его интенсивности. В качестве кристалла монохроматора использовалась монокристаллическая пластинка кремния ориентации (100), угол Брэгга равен $34,54^\circ$ для фотонов с энергией 8 кэВ. Рабочее напряжение рентгеновского аппарата было выбрано равным 20 кВ, анодный ток – 100 мкА. Согласно паспортным данным, размер фокального пятна рентгеновской трубки аппарата РЕИС 25 составляет 100 мкм. Экспозиция при съемке рентгеновского пучка составила 30 с. Получено изображение поперечного сечения рентгеновского пучка на различных расстояниях от зеркала монохроматора. Размер пучка на расстоянии 70 мм от зеркала монохроматора составляет около 200 мкм. Расчеты показали, что интенсивность рентгеновского пучка составляет около $4,6 \cdot 10^3$ фот./с.

Интенсивность пучка может быть увеличена, если в качестве источника излучения использовать рентгеновскую микрофокусную трубку фирмы Hamamatsu модель L8301. Трубка имеет следующие параметры: медный анод, размер фокусного пятна 1 микромметр, максимально возможный анодный ток при напряжении 40 кВ составляет 170 мкА.

При указанных выше параметрах рентгеновской трубки и линзы, интенсивность монохроматического рентгеновского пучка составляет $4,2 \cdot 10^4$ фот./с. Интенсивность является относительно высокой и достаточной для целого ряда практических приложений.

Таким образом, в результате реализации устройства с использованием микрофокусной рентгеновской трубки фирмы Hamamatsu (модель L8301), принципиально возможно получение рентгеновского пучка размером в несколько десятков микромметров и достаточно высокой интенсивности.

Работа выполнена в рамках задания 5.4.21 ГПНИ «Механика, техническая диагностика, металлургия».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Дудчик, Ю. И. Многоэлементная сферическая преломляющая линза для формирования микро- и наноразмерных пучков рентгеновского излучения / Ю. И. Дудчик // Вест. Белорус. гос. ун-та. Сер. 1. Физика. Математика. Информатика. – 2008. – № 2. – С. 26–30.

2. Dudchik, Yury. Design and Application of X-Ray Lens in the Form of Glass Capillary Filled by a Set of Concave Epoxy Microlenses / Yury, Dudchik // Optical Fiber Communications and Devices. Edited by: Moh. Yasin, Sulaiman W. Harun and Hamzah Arof (Ed.), ISBN: 978-953-307-954-7, Publisher:InTech, February 2012. pp.77–94.

E-mail: dudchik@bsu.by

кристалл монохроматор 3. Траектории рентгеновских лучей, распространяющихся в системе, показаны позицией 4.

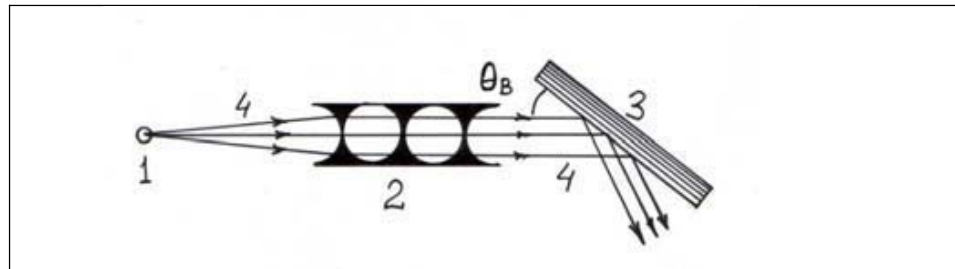


Рис. 1. Устройство для получения монохроматического рентгеновского микроручка

На рис. 2 показано реализованное устройство для формирования квазипараллельного рентгеновского пучка. Устройство содержит: 1 – микрофокусный рентгеновский излучатель РЕИС-25, оснащенный рентгеновской трубкой с медным анодом; 2 – многоэлементную преломляющую рентгеновскую линзу в держателе; 3 – зеркало монохроматор в виде монокристаллической пластины кремния, 4 – цифровую рентгеновскую камеру фирмы "Photic Science". Линза размещена в гониометре 5, зеркало-монохроматор 3 размещено в держателе 6, допускающем вращательное движение вокруг вертикальной оси.

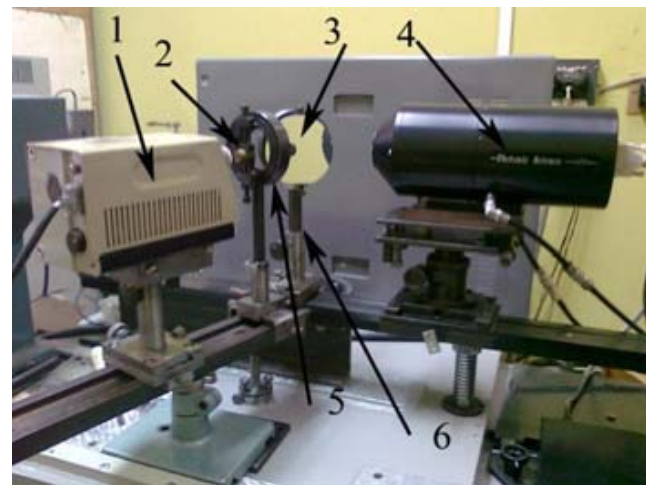
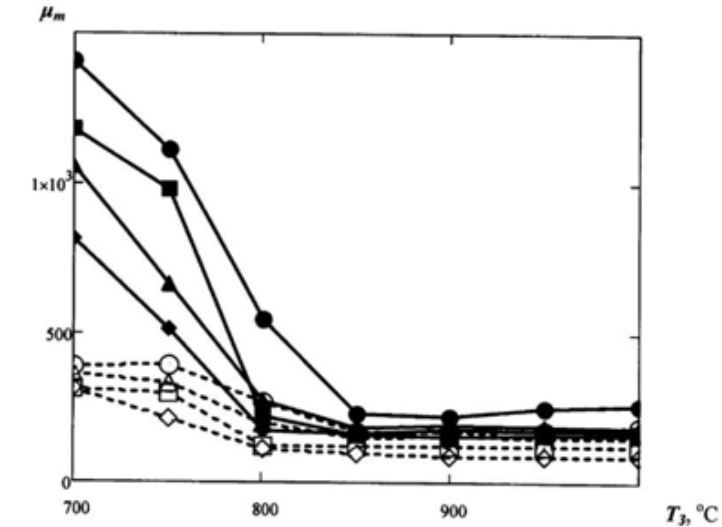


Рис. 2. Фотография устройства для формирования квазипараллельного рентгеновского пучка

В качестве рентгеновской линзы использована многоэлементная преломляющая рентгеновская линза, разработанная в НИИПФП им. А.Н. Севченко БГУ [1, 2]. Линза представляет собой стеклянный микрокапилляр, внутри которого сформирована 161 двояковогнутая эпоксидная микролинза с радиусом кривизны 50 мкм каждая. Длина линзы равна 18 мм. Фокусное расстояние линзы равно 41 мм для фотонов с энергией 8 кэВ.

С использованием результатов расчета зависимостей M_R от температуры T_3 закалки углеродистых сталей по (2) и (3) и соотношения (1) установлены [2] действительные значения μ_m углеродистых сталей, закаленных от различных T_3 (они в 1,3–3,6 раз больше справочных [1]). Показано, что μ_m углеродистых сталей обладает более чем H_C , высокой чувствительностью к изменениям T_3 в диапазоне $700^\circ\text{C} \leq T_3 \leq 850^\circ\text{C}$.



●, ▲, ■, ◆ – расчет по [2]; ○, Δ, □, ◇ – справочные данные по [1]

Рис. 2. Влияние температуры T_3 закалки сталей 30 (○, ●), 45 (Δ, ▲), У8 (□, ■) и У10 (◇, ◆) на ее максимальную магнитную проницаемость μ_m

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Неразрушающий контроль: справочник: в 8 т. / Под общ. ред. В. В. Клюева. Т. 6. – М. : Машиностроение, 2006 – 848 с.
2. Сандомирский, С. Г. Использование связей между магнитными параметрами для оценки влияния режимов закалки углеродистых сталей на их остаточную намагниченность / С. Г. Сандомирский // Заводская лаборатория. Диагностика материалов. – 2011. – Т. 77. – № 12. – С. 33–37.
3. Сандомирский, С. Г. Расчет остаточной намагниченности сталей по результату измерения коэрцитивной силы и максимальной магнитной проницаемости / С. Г. Сандомирский // Контроль. Диагностика. – 2010. – № 9. – С. 38–41.
4. Сандомирский, С. Г. Анализ возможности измерения остаточной намагниченности ферромагнитного материала в открытой магнитной цепи / С. Г. Сандомирский // Метрология. – 2010. – № 3. – С. 33–41.
5. Сандомирский, С. Г. Оценка остаточной намагниченности термообработанных сталей по намагниченности технического насыщения и коэрцитивной силе / С. Г. Сандомирский // Сталь. – 2010. – № 12. – С. 61–63.
6. Сандомирский, С. Г. Оценка максимальной магнитной проницаемости сталей по коэрцитивной силе / С. Г. Сандомирский // Заводская лаборатория. Диагностика материалов. – 2011. – № 3. – С. 35–38.

E-mail: sand@iaph.bas-net.by

С. Г. САНДОМИРСКИЙ
ГНУ «ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ МАШИНОСТРОЕНИЯ
НАН Беларуси»,
Минск, Беларусь

Магнитный анализ металлов и сплавов разделяют на структурный и фазовый. Основными магнитными параметрами сталей, чувствительными к их структуре (уровню напряжений, величине зерна, дефектов в кристаллической решетке и др.), являются коэрцитивная сила H_C и остаточная намагниченность M_R . Фазочувствительной магнитной характеристикой считается намагниченность M_S технического насыщения. Но, в последнее время, как и структуро-, и фазо- чувствительный параметр используют релаксационную коэрцитивную силу H_{re} изделия.

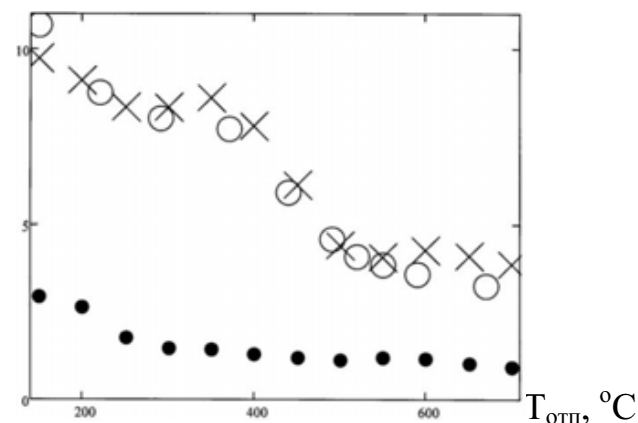
Целью работы является определение условий, при которых H_{re} стальных изделий обладает высокой чувствительностью к изменениям их структуро- и фазо- чувствительных магнитных характеристик.

Задача расчета H_{re} изделий по их размагничивающему фактору N и результатам измерения основных магнитных параметров предельной петли гистерезиса материала изделий (H_C , M_R и M_S) решена автором в [1]:

$$H_{re} \approx H_C \left[1 + 0,64 \left(1 - \frac{M_R}{M_S} \right)^2 \right] + \frac{4}{3} M_R \left(1 - \frac{M_R}{M_S} \right)^2 N. \quad (1)$$

По (1) и формулам для расчета N ферромагнитных тел зависимости H_{re} изделий от технологических факторов могут быть рассчитаны по результатам измерения H_C , M_S и M_R материала изделий (рис. 1).

H_C , H_{re} , кА/м



X – расчет по (1); O – экспериментальные результаты по [2]

Рис. 1. Влияние температуры $T_{отп}$ отпуска цилиндров из стали 40X на их H_C (●) и H_{re} (o, X)

Ю. И. ДУДЧИК
НИУ «НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ ПРИКЛАДНЫХ
ФИЗИЧЕСКИХ ПРОБЛЕМ им. А.Н. Севченко» БГУ
Минск, Беларусь

Для контроля напряженного состояния деталей широко используется метод дифракции рентгеновских лучей, который позволяет определить механические напряжения по деформациям кристаллической решетки в приповерхностном слое материала. Точность метода существенно зависит от степени монохроматичности исходного рентгеновского пучка и от его расходимости. Как правило, монохроматизация рентгеновского пучка осуществляется с использованием кристаллов монохроматоров, однако при этом пучок существенно ослабляется.

В НИИПФП им. А.Н. Севченко БГУ разработан новый элемент рентгеновской оптики – многоэлементная преломляющая линза, который фактически идеально подходит для решения задачи по формированию квазипараллельного рентгеновского пучка от точечного источника излучения [1, 2].

Линза выполнена в виде стеклянного капилляра, в котором сформировано от 100 до 300 двояковогнутых сферических эпоксидных микролинз с радиусом кривизны равным радиусу канала капилляра (50–100 мкм). Фокусное расстояние разработанных линз составляет около 4 см для фотонов с энергией 8 кэВ и 10–20 см для фотонов с энергией 18 кэВ.

Преломляющая рентгеновская линза является аналогом преломляющей линзы для видимого излучения и позволяет получать изображения источников излучения и объектов в рентгеновских лучах: если источник расположить на расстоянии a от линзы, то изображение источника будет находиться на расстоянии b от линзы, где a и b удовлетворяют формуле линзы:

$$1/a + 1/b = 1/f$$

где f – фокусное расстояние преломляющей рентгеновской линзы. Если в качестве источника излучения использовать точечный источник излучения и расположить его в фокальной плоскости линзы ($a=f$), то линза сформирует плоскопараллельный пучок. Для случая, если источник имеет размеры s , то расходимость пучка $\Delta\theta$ будет определяться как $\Delta\theta = s/f$.

На рис. 1 показана структурная схема устройства для получения монохроматического рентгеновского микропучка, которое содержит микрофокусную рентгеновскую трубку 1, преломляющую рентгеновскую линзу 2 и

Систему уравнений (4) возможно однозначно разрешить относительно искомой толщины слоя h_1 :

$$\begin{aligned} \frac{a^2 + 4h_1^2}{(t_1')^2} &= \frac{b^2 + 4h_1^2}{(t_1'')^2}; \\ (t_1'')^2(A^2 + 4h_1^2) &= (t_1')^2(b^2 + 4h_1^2); \\ a^2(t_1'')^2 + 4h_1^2(t_1'')^2 &= b^2(t_1')^2 + 4h_1^2(t_1')^2; \\ 4h_1^2[(t_1'')^2 - (t_1')^2] &= b^2(t_1')^2 - a^2(t_1')^2; \\ h_1 &= \sqrt{\frac{b^2(t_1')^2 - a^2(t_1')^2}{4[(t_1'')^2 - (t_1')^2]}}. \end{aligned} \quad (5)$$

Уравнение (5) определяет толщину h_1 искомого слоя и не зависит от скорости c распространения электромагнитной волны, и, следовательно, не зависит ни от диэлектрической проницаемости среды ξ и ни от тангенса угла диэлектрических потерь, т. е. затухания электромагнитной волны в среде. Другими словами, предлагаемый метод георадарной технологии является индифферентным относительно электрических характеристик асфальтобетонного слоя.

Аналогично можно получить систему уравнений для второго, третьего и n -ого слоев дорожных покрытий:

$$h_n = \sqrt{\frac{b^2(t_n')^2 - a^2(t_n'')^2}{4[(t_n'')^2 - (t_n')^2]}}$$

где t_n' , t_n'' – время распространения электромагнитных волн в соответствующих слоях.

Для измерений, по предложенной методике, система должна анализировать четкие переотраженные радиолокационные сигналы от границ слоев дорожных покрытий, что обеспечивается параметрами разработанного георадара.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Георадары в дорожном строительстве. Тематическая подборка. Информационный центр по автомобильным дорогам // Министерство транспорта РФ. – Москва, 2003. – 72 с.
2. Чернобай, И. А. Метод определения глубины залегания подповерхностных неоднородностей / А. В. Сергеев // Доклады Академии наук Беларуси. – Минск, 1997. – Т. 41 – № 4.

E-mail: khadali2007@gmail.com
ramanau.a@gmail.com
tchival@mail.ru

Это позволяет использовать (1) для анализа влияния магнитных свойств и размеров изделий на их H_{re} .

Для проведения анализа воспользуемся чувствительностью $S_x^{H_{re}}$ величины H_{re} к параметру x (в качестве x могут быть H_C , M_S , M_R или N) [3]:

$$S_x^{H_{re}} = \lim_{\Delta x \rightarrow 0} \frac{\Delta H_{re}/H_{re}}{\Delta x/x} = \frac{x}{H_{re}} H'_{re x}, \quad (2)$$

где ΔH_{re} – изменение H_{re} при изменении Δx параметра x и постоянстве других параметров; $H'_{re x}$ – производная H_{re} по параметру x .

Чувствительность $S_x^{H_{re}}$ показывает, в какой степени изменение параметра x изменяет H_{re} . Из (2) с учетом (1) получим:

$$S_{H_C}^{H_{re}} = \left\{ 1 + \frac{4}{3[0,64 + (1 - K_{II})^{-2}]} \xi \right\}^{-1}; \quad (3)$$

$$S_{M_R}^{H_{re}} = \frac{(1 - 3K_{II})4\xi/3 - 1,28K_{II}}{(1 - K_{II})[0,64 + (1 - K_{II})^{-2} + 4\xi/3]}; \quad (4)$$

$$S_{M_S}^{H_{re}} = \frac{2K_{II}(0,64 + 4\xi/3)}{(1 - K_{II})[0,64 + (1 - K_{II})^{-2} + 4\xi/3]}; \quad (5)$$

$$S_N^{H_{re}} = \left\{ 1 + \frac{3[0,64 + (1 - K_{II})^{-2}]}{4\xi} \right\}^{-1}, \quad (6)$$

где $\xi = M_R N / H_C$; $K_{II} = M_R / M_S$.

Отметим, что в практически возможном диапазоне изменения K_{II} сталей ($0,4 \leq K_{II} \leq 0,8$) при любом $0 \leq \xi < \infty$ чувствительности $S_{H_C}^{H_{re}}$, $S_{M_S}^{H_{re}}$ и $S_N^{H_{re}}$ положительны, а $S_{M_R}^{H_{re}}$ отрицательна. Это означает, что увеличение параметров H_C , M_S и N приводит к увеличению H_{re} , а увеличение M_R – к уменьшению H_{re} . При любых K_{II} и ξ верны тождества:

$$S_{H_C}^{H_{re}} + S_{M_R}^{H_{re}} + S_{M_S}^{H_{re}} \equiv 1; \quad (7)$$

$$S_{H_C}^{H_{re}} + S_N^{H_{re}} \equiv 1. \quad (8)$$

$$\text{Из (7) и (8) следует так же: } S_{M_R}^{H_{re}} + S_{M_S}^{H_{re}} \equiv S_N^{H_{re}} \quad (9)$$

Для анализа представляют интерес значения чувствительностей $S_x^{H_{re}}$ в предельных случаях возможного диапазона изменения ξ . При $\xi = 0$ (то есть при $N = 0$ – для $S_x^{H_{re}}$ материала) из (3–5) получим:

$$S_{H_C}^{H_{re}} = 1; \quad (10)$$

$$S_{M_S}^{H_{re}} = -S_{M_R}^{H_{re}} = \frac{1,28K_{II}(1 - K_{II})}{1 + 0,64(1 - K_{II})^2}. \quad (11)$$

При $\xi \gg 1$ из (3–6) получим:

$$S_{H_C}^{H_{re}} \approx 0; (3/) \quad S_{M_R}^{H_{re}} \approx \frac{1 - 3K_{II}}{1 - K_{II}}; (4/) \quad S_{M_S}^{H_{re}} \approx \frac{2K_{II}}{1 - K_{II}}; (5/) \quad S_N^{H_{re}} \approx 1. (6)$$

При этом тождества (7) и (9) преобразуются в равенство

$$S_{M_R}^{H_{re}} + S_{M_S}^{H_{re}} \approx 1. \quad (7)$$

В работе представлены результаты расчета чувствительностей $S_x^{H_{re}}(\xi)$ (при $x = H_C, M_S, M_R$ и N) по (3–6) для изделий из различных материалов и размеров. Проанализированный диапазон изменения параметров K_{II} и ξ охватывает весь, практически возможный, диапазон изменения магнитных свойств и размеров стальных изделий, подвергающихся магнитной структуроскопии.

Результаты анализа показали, что:

– если зависимость H_C стали от технологического фактора имеет монотонный и однозначный характер, использовать результат измерения H_{re} изделий из этой стали для магнитной структуроскопии не имеет смысла, так как H_C изделия, равная H_C его материала, может быть измерена проще, точнее и не зависимо от изменения размеров изделий.

– условиями эффективного использования H_{re} изделий в качестве структурочувствительного параметра является монотонное изменение M_R материала изделий под влиянием технологических факторов при немонотонном изменении или постоянстве H_C и M_S . При этом $K_{II} = M_R/M_S$ петли гистерезиса материала должен превышать 0,6, а параметр $\xi = M_R N/H_C$ изделия – 8. Тогда H_{re} изделия может быть в 2–7 раз более чувствительна к структурным превращениям материала, вызывающим изменения его M_R , чем сам параметр M_R .

– условиями эффективного использования H_{re} изделий в качестве фазочувствительного параметра является монотонное изменение M_S материала изделий под влиянием технологических факторов при постоянстве или противоположно направленном изменении M_R . При этом K_{II} материала должен превышать значение 0,6, а параметр ξ изделия – значение 8. Тогда H_{re} изделия может быть в 3–8 раз более чувствительна к фазовым превращениям в материале, вызывающем изменения его M_S , чем сам параметр M_S .

– с использованием формулы (1) и формул для расчета центрального коэффициента N размагничивания тел различной формы зависимости H_{re} изделий от технологических факторов могут быть рассчитаны по справочным результатам измерения основных магнитных параметров (H_C, M_S и M_R) материала изделий.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Сандомирский, С. Г. Расчет релаксационной коэрцитивной силы ферромагнитного тела / С. Г. Сандомирский // Электротехника. – 2011. – № 2. – С. 58–62.
2. Михеев, М. Н. Неразрушающий магнитный контроль закаленных и отпущенных изделий из низколегированных конструкционных и простых углеродистых сталей / М. Н. Михеев, Э. С. Горкунов, Ф. Н. Дунаев // Дефектоскопия. – 1977. – № 6. – С. 7–13.
3. Сандомирский, С. Г. Анализ структурной и фазовой чувствительности релаксационной коэрцитивной силы ферромагнитного тела / С. Г. Сандомирский // Контроль. Диагностика. – 2011. – № 9. – С. 19–24.

E-mail: sand@iaph.bas-net.by

База $l_{1\Sigma} = 2l_1 = 2\sqrt{\frac{a^2}{4} + h_1^2}$, тогда скорость c_1 электромагнитной волны рав-

на:

$$c_1 = \frac{l_{1\Sigma}}{t_1} = \frac{2\sqrt{\frac{a^2}{4} + h_1^2}}{t_1}. \quad (3)$$

Представим, что a изменено до величины b , т. е. приемник 2 переключен электронной схемой ИП на приемник 3. В этом случае фактически организован второй канал измерений. Этот метод измерений предложен и обоснован ранее одним из авторов настоящей работы в [2] на примере двух- и многоканальной схемы измерений.

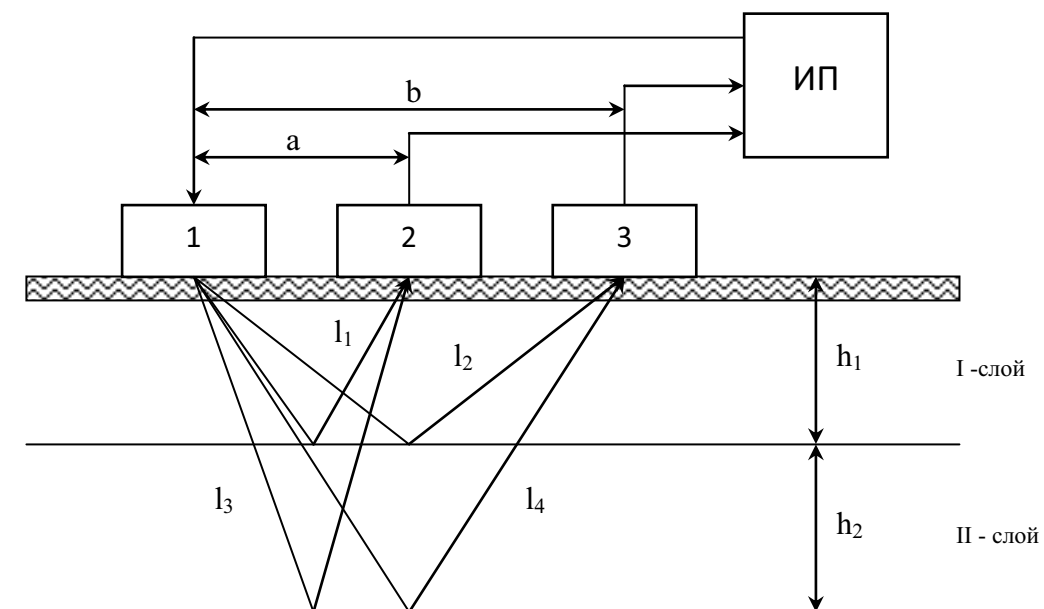


Рис. 1. Функциональная схема георадарного измерителя применительно к определению толщины двух верхних слоев: 1 – излучающая антенна; 2, 3 – приёмники электромагнитных волн (приемной антенны); a – расстояние между центрами излучающей и первой приёмной антеннами; b – расстояние между центрами излучающей и второй приёмной антеннами; ИП – измерительный прибор; $l_1 \div l_4$ – пути распространения электромагнитных сигналов; h_1, h_2 – измеряемые толщины 1-ого и 2-ого слоев покрытий

Тогда справедливо $T'_1 = \tau_\Sigma + t'_1$; $T''_1 = \tau_\Sigma + t''_1$ и можно записать систему двух уравнений:

$$\left. \begin{aligned} c_1^2 &= \frac{a^2 + 4h_1^2}{(t'_1)^2}; \\ c_1^2 &= \frac{b^2 + 4h_1^2}{(t''_1)^2}; \end{aligned} \right\}. \quad (4)$$

А. В. ГРОМЫКО, А. Ф. РОМАНОВ, А. И. ХОДАСЕВИЧ, И. А. ЧЕРНОБАЙ
НИУ «НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ ПРИКЛАДНЫХ
ФИЗИЧЕСКИХ ПРОБЛЕМ им. А.Н. Севченко» БГУ
Минск, Беларусь

В настоящее время актуальность приобретают экономичные и мобильные методы и приборы для диагностики качества внутреннего строения дорожных конструкций. Среди этих методов особую популярность приобретают современные высокопроизводительные, неразрушающие и экологически чистые георадарные технологии [1].

Авторами разработан георадарный метод и специализированный георадар для экспресс-контроля толщины и качества дорожных покрытий. Для получения необходимой точности и разрешающей способности по толщине покрытий в 1,0...1,5 см использованы рупорные антенны с полосой пропускания от 2 до 5 ГГц. Динамический диапазон обрабатываемых в георадаре сигналов не менее 100 дБ. Применяется быстродействующий АЦП с частотой выборки до 80 МГц. Эти технические характеристики обеспечивают глубину зондирования до 0,5 м. Важной особенностью георадара является применение двухканальной системы измерений – одна излучающая антенна и две приемные, разнесенные на фиксированные расстояния от излучающей. Это позволяет вычислять диэлектрическую проницаемость ξ контролируемых слоев и, соответственно, получать повышенную точность измерений. Вычисление диэлектрической проницаемости каждого слоя производится с помощью программного обеспечения георадара в соответствии со схемой распространения радиосигнала в многослойной среде (рис. 1).

Измерительным прибором (ИП) измеряется время распространения радиоимпульса, равное:

$$T_1 = \Delta\tau_{\Sigma} + t_1, \quad (1)$$

где $\Delta\tau_{\Sigma}$ – суммарное время задержки сигнала в электронной схеме прибора, соединительных кабелей, приёмноизлучающих антеннах; t_1 – время распространения сигнала в первом асфальтобетонном слое.

Толщину первого слоя h_1 определяем по траектории: антенна 1 – граница слоев – антенна 2 $h_1 = \tau_p \cdot c_1$.

$$\text{При } a=0 \text{ имеем } \tau_p = \frac{t_1}{2}. \text{ При } a=\text{const}: l = \sqrt{\frac{a^2}{4} + h_1^2}. \quad (2)$$

С. С. СЕРГЕЕВ, А. П. МАРКОВ
ГУ ВПО «БЕЛОРУССКО-РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
Могилев, Беларусь

Преимущества оптоволоконных преобразований в структурах оптико-электронных мутнометров в большей мере проявляются в спектрально-энергетических взаимодействиях неоднородностей с лучистым потоком Φ_{λ} .

Непосредственной задачей оптико-электронной мутнометрии является визуальное отображение фактического состояния неоднородной среды. При этом обеспечивается количественная и качественная оценка свойств неоднородностей, изменяющих физико-технические параметры однородной среды с технологически нормированными допусками.

За счет воздействующего спектрально-энергетического излучателя при взаимодействии с неоднородностью и излучением, отражаемым средой, формируется лучистый поток. Как носитель первичной информации лучистый поток характеризуется абсолютным значением (амплитудой, интенсивностью) этого потока и характером его спектрально-энергетического распределения. Соответственно и способы мутнометрии подразделяются на абсолютные энергетические и относительные спектрального отношения [1, 2].

Если для энергетических способов прием и измерение интенсивности лучистого потока осуществляется в одном участке спектра излучения, то в спектральных в большом (более двух) спектральном диапазоне. Тогда и способы мутнометрии разделяются на:

- интегральные, при приеме излучения с $\Delta\lambda \rightarrow \infty$;
- селективные, при приеме частичного излучения (монохроматические) с $\Delta\lambda = \text{const}$ и $\Delta\lambda \rightarrow 0$;
- спектральные, при приеме спектрально окрашенного излучения от нескольких источников (цветовые);
- смешанные, при приеме многоспектрального (многоцветного) излучения.

Для всех способов мутнометрии первично отображаемое неоднородной средой излучение преобразуется в соответствующий носитель информации, визуализирующий фактическое состояние среды и комфортно воспринимаемый приемником (наблюдатель, система и другие средства). При этом информативное излучение, отражающее характер взаимодействия излучения с неоднородностями среды, определяется эффективным лучистым потоком и коэффициентом τ_{λ} спектрального согласования (восприятия и пропускания системой). В эффективном лучистом потоке, в большей мере, отражается ко-

личественная сторона физико-технического взаимодействия излучения с неоднородностями, а в спектральном распределении – количественная.

В общем случае абсолютное значение лучистого потока Φ_λ определяется эффектом суммарного воздействия на среду и может быть представлено выражением:

$$\Phi_\lambda = F \cdot \int_0^\infty b_\lambda \cdot \tau_\lambda \cdot d\lambda,$$

где F – эффективный коэффициент использования отображаемого средой лучистого потока; b_λ – плотность энергии отображаемого средой излучения; τ_λ – коэффициент спектрального преобразования излучения при взаимодействии со средой.

Для определения Φ_e в зависимости от принятого информативного параметра неоднородной среды необходимо вычислить интеграл:

$$\Phi_e = \int_0^\infty b_\lambda \cdot \tau_{i\lambda} \cdot d\lambda.$$

При этом неопределенность в функциональной зависимости b_λ и $\tau_{i\lambda}$ ограничивает возможность установления определенной связи между эффективным потоком Φ_e и физико-техническим состоянием неоднородной среды. Однако, с учетом специфики неоднородностей и их спектрально-энергетического взаимодействия с излучением, устанавливаются приближенные аналитические зависимости Φ_e для различных по природе и геометрии неоднородностей в ограниченных диапазонах спектра и для каждого τ_λ .

Аппроксимируя зависимость коэффициента спектрального преобразования по выбранным спектральным участкам λ_i и λ_{i+1} , получаем зависимость τ_{λ_i} и $\tau_{\lambda_{i+1}}$ для этих участков.

Для некоторой эффективной длины волны $\lambda_{эф}$ отображаемое средой излучение более достоверно отображает состояние и свойства как неоднородностей, так и неоднородной среды. Именно в параметрах информативного излучения и спектральном распределении лучистого потока сосредотачивается первичная информация. Тогда в сравнении экстремальных значений лучистых потоков $\Phi_{эф}$ и $\Phi_{он}$ (опорный поток с минимальными значениями параметров) для ограниченного участка спектра более эффективно реализуется информационно-преобразовательный процесс.

Для решения задачи выбора участков опорной и эффективной длины волны, необходимо исследовать спектрально-энергетические особенности информативного лучистого потока во всем спектральном диапазоне взаимодействия излучений и неоднородностей. Эффективность проявления физико-технических свойств неоднородной среды во многом обусловлена характером спектрально-энергетических взаимодействий воздействующего излучения и информационно-физических преобразований первичной информации.

ненного паяного соединения, уменьшать время пайки, увеличивать расстояние между паяными соединениями, применять контакты из материала с минимальным коэффициентом теплопроводности;

– показано, что при монтаже компонентов в отверстия ПП необходимо учитывать перепад температуры по толщине, зависящий от толщины ПП, времени пайки, материала монтируемых компонентов, наличия широкого печатного проводника или другого теплоотвода со стороны установки компонентов.

Высокое качество паяных соединений, выполненных по традиционным и уникальным технологиям, подтверждено проведением комплекса испытаний блоков автоматики на устойчивость к воздействию механических нагрузок по ГОСТ В20.57.305-98, испытаниями приборов опытным хранением и на надежность, проверкой механической прочности нескольких сотен паяных соединений, визуальным контролем нескольких десятков тысяч паяных соединений, исследованием шлифов паяных соединений, форм паяных соединений, изучением внешнего вида разрушенных паяных соединений.

Результаты исследований внедрены в серийное производство электронных приборов, собираемых методами контактной ручной и полуавтоматической пайки, пайки волной припоя, по технологии смешанного монтажа, поверхностного монтажа.

Обнаружено, что пайка волной припоя отличается достаточно высокой точностью обеспечения требуемой температуры пайки, меньшим перепадом температуры по глубине паяного соединения по сравнению с контактной или лазерной пайкой.

Доказано, что размеры паяного соединения регламентируют минимальное время контактной и лазерной пайки из-за недопустимо высокого перепада температуры по его длине.

Установлено, что разогрев паяных соединений, а также перепад температуры по их глубине при контактной, волновой и лазерной пайке может быть оценен по уравнениям теплопроводности для полуограниченной пластины с граничными условиями четвертого рода.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Лашко, Н. Ф.** Контактные металлургические процессы при пайке / Н. Ф. Лашко, С. В. Лашко. – М. : Металлургия, 1977. – 192 с.
2. **Манко, Г.** Пайка и припой / Г. Манко. – М. : Машиностроение, 1968 – 322 с.

E-mail: Shtennikov_vn@mail.ru

мов монтажа электронных приборов, внедрение комплекса решений в области пайки электронных приборов.

Результаты проведенных исследований сопоставлены с литературными данными и требованиями используемых в России стандартов IPC, МЭК. Показано, что международные стандарты IPC, МЭК по пайке электронных приборов требуют уточнения по ряду вопросов: обеспечению температурного режима пайки; классификации способов пайки; выбору оборудования; преимуществам и недостаткам различных методов пайки, в том числе термочувствительных компонентов; по оптимальной продолжительности и температуре пайки; предварительному нагреву электронных сборок перед пайкой; оценке температурного профиля паяных соединений в зависимости от способа пайки; опасности образования интерметаллидов при пайке и распайке; марке используемого припоя для операции предварительного лужения; по влиянию длины и диаметра стержня паяльного инструмента на величину поправки к показаниям температуры паяльной станции; по оценке влияния защитного покрытия и формы заточки паяльного стержня на режимы пайки; повышению эффективности использования ступенчатой пайки и теплоотвода; оценке перепада температуры по глубине металлизированного отверстия печатной платы (ПП), другим вопросам. Сформулированные уточнения международных стандартов могут быть использованы для корректировки действующих и разработки перспективных национальных стандартов.

Показано, что стандартные режимы монтажа не гарантируют получение качественных паяных соединений уникальной конструкции и требуют проведения углубленных теоретических исследований.

Установлен комплекс аналитических зависимостей между параметрами технологического процесса, оборудования и конструкцией паяных соединений, позволивший сформулировать соответствующие предложения и рекомендации, ввести их в нормативную документацию, внедрить в серийное производство, в частности:

- показана зависимость снижения температуры паяльного инструмента и времени разогрева от его мощности, теплоемкости, теплопоглощения при пайке;

- установлено влияние начальной температуры паяльного стержня, диаметра, длины, условий теплового контакта с корпусом паяльного инструмента, защитного покрытия, формы заточки, коэффициента теплоусвоения материала на температуру его рабочего конца при пайке;

- определено влияние размеров, коэффициента температуропроводности материала паяльного стержня, времени пайки, условий теплового контакта с корпусом паяльного инструмента на время разогрева рабочего конца стержня после пайки;

- установлено, что для повышения качества ступенчатой пайки необходимо использовать эвтектические припои, теплоотвод с максимальной фактической площадью контакта, размещенный около первоначально выпол-

В сравнении информативного излучения для $\lambda_{эф}$, в котором сосредоточена оптически контрастная зона и $\lambda_{он}$, выступающего в роли фона, особенно проявляется качественная сторона неоднородной среды.

При спектрально-энергетическом воздействии селективного излучателя с варьируемыми λ_i отраженное и рассеянное излучение, при взаимодействии с неоднородностями, представляется совокупностью элементарных излучателей в виде разносветящихся точек. В свою очередь, поглощенная часть энергии излучения преобразовывается в другие виды. Тогда по соотношению лучистых потоков поглощенного неоднородностями рассеянного ими и пропущенного определяется доленое значение каждой составляющей в информативном излучении.

Доленое спектрально-энергетическое распределение составляющих информативного излучения зависит от природы, структуры, геометрии и концентрации неоднородностей, а также от соотношения спектральных составляющих воздействующего на среду излучения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Барковский, В. Ф.** Основы физико-химических методов анализа / В. Ф. Барковский, Т. Б. Городенцева, Н. Б. Топорова // Под ред. В. Ф. Барковского. – М. : Высш. школа, 1983. – 247.

2. **Булатов, М. И.** Практическое руководство по фотоколориметрическому и спектрофотометрическому методам анализа / М. И. Булатов, И. П. Калинин. – Л. : Химия, 1976. – 376 с.

Е. В. ТЕЛЕШ
УО «БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИНФОРМАТИКИ И РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ»
Минск, Беларусь

В тонких пленках характерным трехмерным дефектом является сквозная макроскопическая пора, пронизывающая пленку. Образование сквозных пор в пленках, полученных испарением или ионным распылением в вакууме, объясняется загрязнением подложки, поглощением газов во время конденсации, бомбардировкой растущего слоя макроскопическими частицами испаряемого материала. Контроль пористости тонкопленочных покрытий особенно важен при изготовлении приборов на основе арсенида галлия, т. к. этот полупроводник не имеет качественного собственного оксида. Для надежной пассивации поверхности GaAs необходимо наносить извне качественные диэлектрические слои. С другой стороны, при высокотемпературном отжиге арсенида галлия происходит испарение мышьяка, поэтому необходимо применять защитные покрытия с минимальной пористостью. Поэтому контроль пористости пленок является актуальной проблемой.

Наиболее часто применяется способ контроля пористости покрытий на полупроводниковых подложках, основанный на электрохимическом взаимодействии капли водного электролита с подложкой [1]. Метод обладает высокой чувствительностью. Наименьший размер поры, который этот способ позволяет фиксировать, составляет всего 0,1 мкм. Однако с помощью этого способа невозможно определить пористость покрытий из металлов или других электропроводящих материалов, т. к. в этом случае происходит короткое замыкание электродов. Кроме того, этим способом можно оценить лишь общую площадь сквозных пор, т. е. нельзя определить диаметр каждой из пор.

Разработанная авторами методика контроля пористости покрытий на подложках из сложных полупроводников $A_{III}B_V$ позволяет определять пористость покрытий как из диэлектрических, так и из электропроводящих материалов, а также диаметр пор, обладает высокими экспрессностью, чувствительностью и разрешающей способностью.

В основу методики положено явление испарения компонентов сложного полупроводника при высоких температурах. Сущность метода контроля заключается в том, что на поверхность исследуемого покрытия предварительно наносят вспомогательную пленку толщиной 0,1–1,0 мкм. Пленку наносят из материала, отношение температуры плавления которого к температуре свободного конгруэнтного испарения летучего компонента (As, P, Sb) сложного полупроводника, из которого изготовлена подложка, находится в пределах 1,0–1,1 мкм. Затем осуществляется нагрев подложки с покрытием при

В. Н. ШТЕННИКОВ
ФГАОУ ВПО «УРАЛЬСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
им. Б.Н. Ельцина»
Екатеринбург, Россия

Один из базовых принципов международной системы менеджмента качества говорит о том, что высокое качество продукции обеспечивается, в первую очередь, за счёт использования высококачественных материалов и комплектующих, соблюдения требуемых режимов монтажа.

Известно, что решающее влияние на качество паяных соединений оказывает температура пайки [1]. Так, например, согласно рекомендациям источника [2] при использовании припоя ПОСб1 температура контактной пайки должна быть в пределах 230...270 °С. Применение бессвинцовых припоев существенно сужает этот диапазон.

Необходимо отметить, что требуемая температура пайки, как правило, не совпадает с температурой, устанавливаемой на оборудовании: нагревателя, паяльного стержня, нагретого газа или жидкости. Она зависит как от перечисленных показателей, так и от ряда других параметров оборудования и паяных соединений.

Таким образом, актуальность решённой проблемы объясняется:

- потребностью изготовления электронных приборов высокого качества при отсутствии современных отечественных стандартов;
- большим влиянием качества паяных соединений на надежность электронных приборов в целом;
- большим количеством и разнообразием конструкций паяных соединений в электронных приборах, обуславливающих применение оригинального оборудования и различных технологий пайки;
- наличием сложных зависимостей параметров технологического процесса пайки от параметров оборудования;
- наличием неточностей в технической литературе и нормативной документации по данному вопросу, включая международные стандарты ИРС, МЭК;
- наличием только самых общих рекомендаций по отработке и соблюдению оптимальных режимов пайки, прогнозированию и решению проблем по их обеспечению.

Цель работы – обобщение результатов экспериментальных исследований, развитие научных основ обеспечения требуемых температурных режи-

Электрическая схема обеих конструкций реализована в виде дифференциального усилителя. Выходной сигнал МВОДД-01 является вольтовым от 0 до 1,5 В, что соответствует измеряемому давлению от 0 до 1,5 МПа. Электрическая схема датчика МВОДД-02, кроме того, содержит источник тока, управляемый напряжением, который превращает поданный на него сигнал напряжения в токовый. Датчик имеет токовый выходной сигнал 4...20 мА, пропорциональный воздействию давлению от 0 до 1 МПа.

График градуировочной характеристики датчика МВОДД-02 представлен на рис. 3.



Рис. 3. График градуировочной характеристики МВОДД-02

Результаты проведенных испытаний датчика МВОДД-01 показали, что его относительная погрешность не более 4 %, приведенная погрешность – не более 2,5 %. Следовательно, датчику может быть присвоен класс точности 2,5.

По предварительным оценкам датчик МВОДД-02 имеет приведенную погрешность около 4 %.

Таким образом, был разработан волоконно-оптический датчик для измерения избыточного давления жидкостей или газов, являющийся взрывобезопасным, помехозащищенным в условиях высокого уровня электромагнитных полей и имеющий невысокую стоимость.

В работе приведен анализ работы волоконно-оптического датчика давления, обсуждаются результаты исследований его работы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Shizhuo ,Yin**, Paul B. Ruffin, Francis, T. S. Yu. Fiber Optic Sensors. London, New York: CRC Press, Taylor & Francis Group, Boca Raton, 2008. - 477 p.

2. **Бусурин, В. И.** Волоконно-оптические датчики: Физические основы, вопросы расчета и применения / В. И. Бусурин, Ю. Р. Носов. – М. : Энергоатомиздат, 1990. – 256 с.

3. Волоконно-оптические датчики. Вводный курс для инженеров и научных работников / Под ред. Э. Удда. – М. : Техносфера, 2008. – 520 с.

E-mail: irina.schilova@tut.by

давлении, верхняя граница которого находится в пределах 10^{-2} – $5 \cdot 10^{-2}$ Па, до температуры плавления материала вспомогательной пленки, с последующей выдержкой при этой температуре, до вспучивания поверхности пленки в местах расположения пор под действием давления паров летучего компонента.

Вспомогательная пленка позволяет сформировать закрытый объем, ограниченный поверхностью подложки, вертикальными стенками поры и нижней поверхностью этой пленки. В процессе нагрева подложки до температуры плавления материала вспомогательной пленки в этом объеме будет скапливаться газ, создавая тем самым некоторое избыточное давление в закрытом объеме под пленкой. Т. к. вспомогательная пленка будет расплавлена, т. е. находится в жидком состоянии, то газ, содержащийся внутри поры, будет вспучивать жидкую пленку в местах расположения пор в виде бугорков, причем диаметр бугорков будет определять диаметр пор. Образование бугорков будет происходить лишь тогда, когда давление газа внутри поры будет превышать давление окружающей среды. Поэтому термообработку необходимо проводить в вакууме. Экспериментальные исследования показали, что для этого достаточен вакуум с давлением не выше 10^{-2} ... $5 \cdot 10^{-2}$ Па. Время выдержки в вакууме контрольной структуры, т.е. подложки с покрытием и нанесенной на поверхность последнего вспомогательной пленкой, в вакууме определяется моментом вспучивания поверхности вспомогательной пленки в местах расположения пор и на практике не превышает 10-15 мин. Температура плавления материала пленки должна быть выше или равна температуре свободного конгруэнтного испарения полупроводника, из которого изготовлена подложка. Это необходимо для того, чтобы создать давление, достаточное для вспучивания пленки. Толщина вспомогательной пленки определяется следующим. При толщине менее 0,1 мкм сложно сформировать беспористое и однородное пленочное покрытие, а при толщине более 1 мкм в пленке, под воздействием внутренних механических напряжений, могут возникнуть трещины, отслоения. В каждом из этих двух случаев будут создаваться условия для увеличения погрешности контроля. Кроме того, слишком толстая вспомогательная пленка затрудняет выявление пор диаметром порядка 0,1 мкм.

Выполнение операции генерации газа путем нагрева подложки позволяет осуществлять контроль как диэлектрических, так и электропроводящих покрытий, т.к. материал покрытия не оказывает влияния на процесс газообразования и, следовательно, на фиксацию пор. Предлагаемый способ обладает высокой экспрессностью, т. к. процесс нанесения вспомогательной пленки и термообработку, полученной структуры, современное технологическое оборудование позволяет осуществить за 30–40 мин.

Высокая чувствительность заявляемого способа обеспечивается за счет применения тонкой вспомогательной пленки, наносимой на исследуемое покрытие. В случае, когда толщина пленки составляет 0,1 мкм, можно обнару-

жить и зафиксировать поры диаметром порядка 0,1 мкм. Высокая разрешающая способность способа обусловлена тем, что диаметр бугорка на поверхности вспомогательной пленки соответствует диаметру поры. Следовательно, расстояние, на котором две рядом расположенные поры будут фиксироваться раздельно, будет мало, т. е. разрешающая способность окажется высокой. На рис. 1. изображена структура для контроля пористости покрытия (а) и вид поверхности структуры Al/TiB₂/GaAs (б).

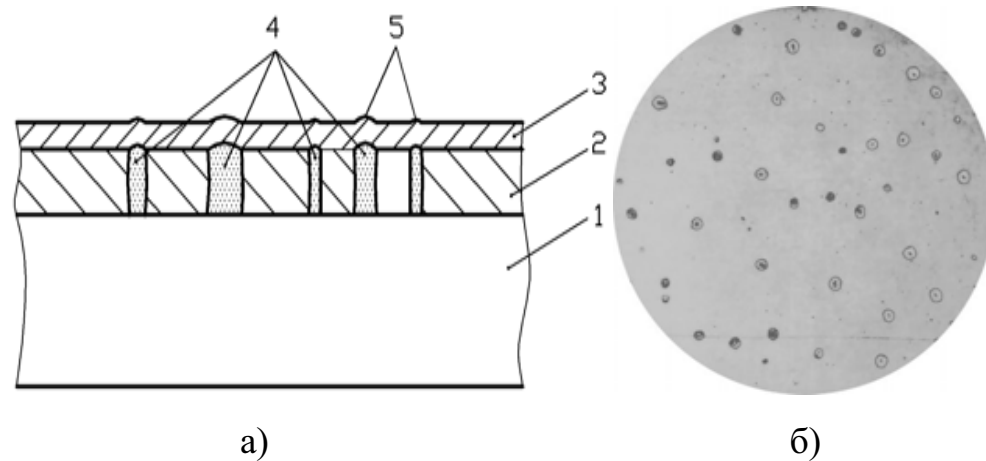


Рис. 1. Структура для контроля пористости (а) и вид поверхности исследуемой структуры Al/TiB₂/GaAs (б): 1 – подложка из сложного полупроводника; 2 – исследуемое покрытие; 3 – вспомогательная пленка; 4 – поры, заполненные газом; 5 – бугорки на поверхности вспомогательной пленки

Таким образом, разработанный способ контроля пористости может найти широкое применение в технологических процессах, связанных с формированием покрытий на подложках из сложных полупроводников при изготовлении интегральных схем и полупроводниковых приборов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Фогель, В. А. Электрохимический метод определения пористости диэлектрических пленок / В. А. Фогель // Электронная техника, сер. 2. – 1971. – вып. 1. – С. 87–93.

E-mail : etelesh@mail.ru

ет шток 3, который, в свою очередь, с помощью поворотного механизма 4 растягивает кольца волоконных световодов светопередающей части 5.

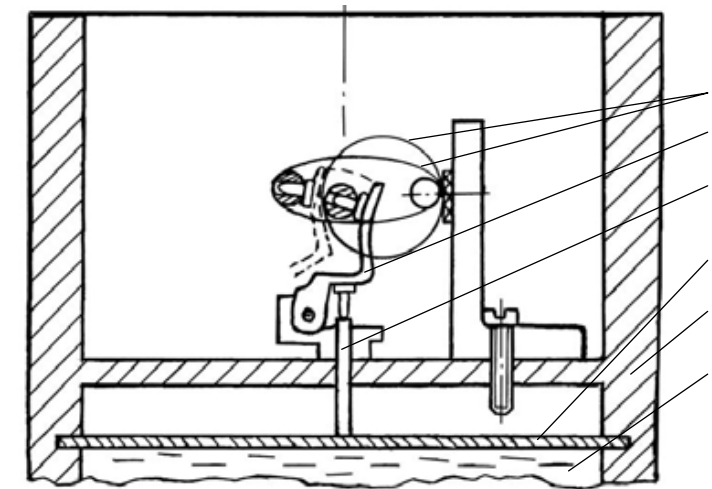


Рис. 1. Эскиз первичного преобразователя: 1 – корпус; 2 – мембрана; 3 – шток; 4 – поворотный механизм; 5 – светопередающая часть; 6 – измеряемая среда (жидкость или газ)

При этом в волоконном световоде радиус витков изменяется, что приводит к уменьшению выходного сигнала, вследствие выхода энергии мод высших порядков в защитную полимерную оболочку. В качестве источника излучения используется светодиод с длиной волны 630–640 нм, в качестве приемника излучения – фотодиод ФД-256.

В отличие от первой конструкции, датчик МВОДД-02 имеет вынесенный преобразователь за счет светопередающей части, которая собрана на концах в волоконно-оптические жгуты длиной 6 м. Этими жгутами первичный преобразователь соединен с блоком усиления и преобразования сигнала. Это позволило вынести блок усиления и обработки сигнала за пределы действия высокого уровня электромагнитных полей, взрывоопасных сред, повышенного уровня вибрации и т. д. Внешний вид разработанного датчика представлен на рис. 2.



Рис. 2. Многоэлементный волоконно-оптический датчик избыточного давления с вынесенным преобразователем: 1 – первичный преобразователь; 2 – блок усиления и преобразования сигнала; 3 – волоконно-оптический кабель

И. В. ШИЛОВА

ГУ ВПО «БЕЛОРУССКО-РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Могилев, Беларусь

В энергетике высокий уровень электромагнитного поля создает помехи и наводки в обычных датчиках давления с электрическим выходным сигналом, что препятствует точному измерению давления в тех или иных технических системах, например, в маломасляных выключателях на подстанциях. Также в промышленности нередко возникает задача измерения давления горючих и взрывоопасных жидкостей или газов в трубах и емкостях.

Все эти задачи наиболее оптимально могут быть решены с помощью волоконно-оптических датчиков давления. В настоящее время разработано большое количество волоконно-оптических первичных преобразователей различных физических величин [1–3]. Из большого разнообразия конструкций волоконно-оптических датчиков наиболее простыми и надежными являются амплитудные датчики, использующие изменение потерь в изогнутых волоконных световодах. Главным недостатком таких датчиков является низкая чувствительность по сравнению с интерференционными и поляризационными волоконно-оптическими датчиками. Поэтому не прекращаются поиски возможностей повышения чувствительности изгибных датчиков.

Помимо всего прочего, при использовании волоконных световодов в датчиках возникает задача ввода излучения в световод. Этих недостатков лишен, разработанный датчик давления, содержащий волоконно-оптическую светопередающую часть в виде волоконно-оптического жгута, состоящую из нескольких волоконных световодов, круглую на концах и плоскую в середине. Применение светопередающей части в виде волоконно-оптического жгута значительно упрощает конструкцию датчика, так как в этом случае исчезает задача ввода излучения в световоды. Это позволяет использовать в качестве источника излучения светодиода, причем без применения юстирующего устройства.

Для решения этих задач были разработаны две конструкции многоэлементного волоконно-оптического датчика давления: МВОДД-01 и МВОДД-02.

Эскиз первичного преобразователя представлен на рис. 1. Первичные преобразователи для обеих конструкций датчика были практически идентичными. Разница состояла лишь в том, что мембрана для МВОДД-01 была рассчитана на изменение давления от 0 до 1,5 МПа, а для МВОДД-02 – от 0 до 1 МПа.

Конструкция первичного преобразователя волоконно-оптического датчика давления содержит корпус 1, прикрепляемый с помощью штуцера к объекту, в котором измеряется давление жидкости или газа. В корпусе 1 закреплена мембрана 2, которая при увеличении давления изгибается и смещает

О. В. ХОЛОДИЛОВ, Д. Ю. БЕЛОНОГИЙ

УО «БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

ТРАНСПОРТА»

Гомель, Беларусь

В настоящее время для диагностики состояния трибосопряжений разработано большое число методов [1]. Одним из наиболее эффективных является метод акустической эмиссии (АЭ), который основан на регистрации механических колебаний, возникающих в результате упругопластической деформации трущихся поверхностей [2, 3].

Как известно, фрикционное взаимодействие двух тел происходит не по всей площади контактирующих поверхностей, а в пределах т. н. «пятен касания» [2]. Из-за дискретности фрикционного контакта тел трение и изнашивание имеют статистическую природу.

Существуют различные подходы построению модели АЭ при трении [2, 3]. Один из них позволяет построить феноменологическую модель, основанную на применении кинетической концепции прочности твердых тел [4], согласно которой разрушение представляет собой термоактивированное зарождение и развитие трещины. Эта модель предполагает, что активность АЭ (число импульсов в единицу времени) помимо составляющей, определяемой упругим деформированием микронеровностей, имеет составляющую, определяемую кинетикой их разрушения [5].

В данной модели за основу берётся ячеистая излучающая структура, образующаяся при трении твердых тел в зоне контакта, определяемая физико-механическими и геометрическими свойствами взаимодействующих поверхностей. Характерный размер ячейки определяется в соответствии с масштабом фрикционной связи.

При фрикционном взаимодействии ячейки, в которых реализуются касательные напряжения, превышающие критическое напряжение разрыва, разрушаются механически с отделением частицы износа и являются источниками АЭ. Разрушение ячеек в результате термоактивированного зарождения и развития трещин вносит определенный вклад в сигнал АЭ.

Предположим, что контактная область состоит из N ячеек (связей), каждая из которых представляет собой некоторый объем материала и характеризуется критическим напряжением разрыва $\sigma_{кр}$.

В статике ячейки совершают колебания относительно положения равновесия, однако, кинетическая энергия этих колебаний при нормальных условиях не превышает энергию активации разрушения материала U_0 , поэтому отрыва ячеек не происходит.

При трении под действием нагрузки энергетический барьер понижается и все ячейки, в которых касательные напряжения превышают критическое напряжение разрыва, разрушаются с отделением частицы износа.

Разрушение каждой ячейки сопровождается излучением одного импульса АЭ, поэтому количество ячеек, разрушаемых в единицу времени, соответствует термоактивированной составляющей активности АЭ [5].

Зависимость долговечности ячейки от действующего на неё касательного напряжения σ описывается известной формулой С. Н. Журкова:

$$\tau_d = \tau_0 \exp\left(\frac{U_0 - \gamma\sigma}{kT}\right) \quad (1)$$

где τ_0 – постоянная, имеет порядок 10^{-12} – 10^{-13} с; U_0 – энергия активации процесса разрушения; γ – структурно-чувствительный коэффициент; k – постоянная Больцмана; T – абсолютная температура.

Если $t_p \leq \frac{d}{v}$, где d – диаметр пятна контакта, а v – скорость скольжения, то t_p можно отождествить со временем жизни фрикционной связи.

Пусть в начальный момент времени на образец действует нагрузка P , тогда количество ячеек с прочностью $\sigma > P$ определяется выражением:

$$N_0 = N_0(\sigma, P) = \int_{\sigma_0}^{\sigma_{\max}} N(\sigma, 0) d\sigma, \quad (2)$$

где σ_0 , σ_{\max} – соответственно, минимальная и максимальная прочности материала ячеек, превышающие действующую нагрузку.

Изменение числа ячеек за счет термоактивированного разрушения можно оценить из дифференциального уравнения:

$$dN_0(\sigma, P) = -N_0(\sigma, P)W(\sigma, P)dt, \quad (3)$$

где $W(\sigma, P)$ – вероятность разрыва ячейки прочностью σ в единицу времени; $N_0(\sigma, P)$ – количество σ -ячеек при нагрузке P и скорости скольжения v .

Решая это уравнение, получим:

$$N_0(\sigma, P) = C \exp\left(-\int_0^{d/v} W(\sigma, P) dt\right), \quad (4)$$

где C – постоянная, определяемая из начальных условий.

Изменение числа σ -ячеек (фрикционных связей) за счет терморактивированного разрушения описывается дифференциальным уравнением:

$$dN_1(\sigma, P) = -N_1(\sigma, P)W(\sigma, P)dt, \quad (5)$$

где $N_1(\sigma, P)$ – количество σ -ячеек, оставшихся целыми при увеличении нагрузки на dP . Решая это уравнение и находя постоянную интегрирования из условия, что при нагрузке P число σ -ячеек равно $N_0(\sigma, P)$ получаем

$$N_1(\sigma, P) = N_0 \exp\left(-\int_0^{d/v} W(\sigma, P) dt\right). \quad (6)$$

Количество σ -ячеек, разрушающихся за время жизни фрикционной связи, составляет

$$N_T(\sigma, P) = N_0(\sigma, P) - N_1(\sigma, P) = N_0(\sigma, P) \left[1 - \int_0^{d/v} W(\sigma, P) dt\right]. \quad (7)$$

Дифференцируя $N_T(\sigma, P)$ по времени, получим число σ -ячеек, термоактивированно разрушаемых в единицу времени $N_T(\sigma, P)$, т. е. активность акустической эмиссии.

Использование статистического подхода позволяет, в ряде случаев, установить корреляцию между основными фрикционными и акустическими параметрами трибосистемы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Мышкин, Н. К.** Диагностика изнашивания трибосопряжений / Н. К. Мышкин, Холодилов О. В., Лозовский В. Н. // Энциклопедия в 40 т.: т. IV–1. Детали машин. Конструкционная прочность. Трение, износ, смазка. М. : Машиностроение – С. 253–258.
2. Акустические и электрические методы в триботехнике / А. И. Свириденко [и др.]; под ред. В. А. Белого. – Минск : Наука и техника. – 1987. – 280 с.
3. **Баранов, В. М.** Акустическая эмиссия при трении / В. М. Баранов [и др.]. – М. : Энергоатомиздат. – 1998. – 256 с.
4. **Регель, В. Р.** Кинетическая природа прочности твердых тел / В. Р. Регель, А. И. Слуцкер, Э. Е. Томашевский. – М. : Наука, 1974. – 560 с.
5. **Вайнберг, В. Е.** Применение кинетической концепции разрушения для расчета интенсивности акустической эмиссии / В. Е. Вайнберг, А. Ш. Кантор, Р. Г. Лупашку // Дефектоскопия. – 1976. – № 3. – С. 89–96.

E-mail: olhol@belsut.gomel.by